



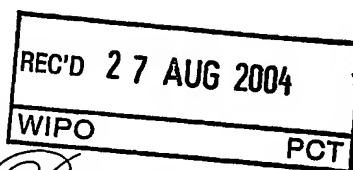
**Office de la propriété
intellectuelle
du Canada**

Un organisme
d'Industrie Canada

**Canadian
Intellectual Property
Office**

An Agency of
Industry Canada

PCT/CA 2004/000959
28 JULY 2004 28-07-04



*Bureau canadien
des brevets
Certification*

*Canadian Patent
Office
Certification*

La présente atteste que les documents
ci-joints, dont la liste figure ci-dessous,
sont des copies authentiques des docu-
ments déposés au Bureau des brevets.

This is to certify that the documents
attached hereto and identified below are
true copies of the documents on file in
the Patent Office.

Mémoire descriptif et dessins, de la demande de brevet no: 2,434,447, tel que déposé
le 27 juin 2003, par **FRANÇOIS TROCHU AND EDUARDO RUIZ**, ayant pour titre:
"Fabrication des Composites par un Procédé d'Injection Flexible au Moyen d'un Moule à
Double Chambre ou à Chambres Multiples".

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Harry Paulhus
Agent certificateur/Certifying Officer

28 juillet 2004

Date

Canada

(CIPQ 68)
31-03-04

OPIC  CIPO

FABRICATION DES COMPOSITES PAR UN PROCÉDÉ D'INJECTION FLEXIBLE AU MOYEN D'UN MOULE À DOUBLE CHAMBRE OU À CHAMBRES MULTIPLES

5

CHAMP DE L'INVENTION

La présente invention se rapporte à la fabrication d'un matériau composite par injection d'une phase liquide (la *matrice*) à travers une phase solide poreuse (le *renfort*).

10

ARRIÈRE-PLAN DE L'INVENTION

Plusieurs procédés sont utilisés dans la fabrication de pièces composites qui consistent à imprégner un renfort avec un liquide qui peut être un polymère réactif (résine) ou un matériau liquide à la température d'injection. Toutes les variantes de cette famille de procédés sont maintenant regroupées sous le terme générique LCM (« *Liquid Composite Molding* »). Même s'ils sont utilisés principalement pour fabriquer des composites à matrice polymère, les procédés LCM se rencontrent également dans des applications biomédicales ou électroniques, quand il s'agit par exemple d'injecter un polymère isolant sur un circuit microélectronique. Un métal en fusion est injecté à la place de la résine polymère pour fabriquer des composites à matrice métallique. Les procédés de fabrication des composites à matrice polymère peuvent être séparés en plusieurs catégories :

25

- a) Moulage contact. - Il s'agit ici de la méthode manuelle qui utilise un demi-moule sur lequel le renfort sec est disposé puis imprégné à la main.
- b) Autoclave. - La pièce composite est fabriquée à la main à partir de renforts pré-imprégnés, puis elle est cuite dans un autoclave. Cette méthode de fabrication est très utilisée en aéronautique notamment dans le secteur militaire. Toutefois son coût reste totalement prohibitif.
- c) Procédé RTM (« *Resin Transfer Molding* »). - La matrice est injectée à l'état liquide à travers un renfort contenu dans un moule rigide. L'injection du liquide dans le procédé RTM peut être effectuée à la température ambiante ou bien à une température plus haute en chauffant le liquide injecté et/ou le moule.
- d) Procédé VARTM (« *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* »). - On fait le vide dans le moule afin de faciliter et d'accélérer l'injection du liquide.
- e) Procédé CRTM (« *Compression Resin Transfer Molding* »). - Aussi appelé injection-compression, le procédé CRTM consiste à ouvrir légèrement l'entrefer du moule pendant l'injection du liquide, puis la pièce est consolidée et mise à la cote par fermeture du poinçon.

45

f) Procédés VARI (« *Vacuum Assisted Resin Infusion* »).- Le renfort est disposé sous un film plastique ou une membrane élastique sous laquelle on fait le vide. Ensuite le liquide est infusé sous l'effet de la gravité.

g) Procédé RTM Light.- Cette variante permet de combiner les avantages de la déformation d'une paroi du moule comme dans l'infusion avec une pression d'injection imposée comme dans le procédé RTM. Le moule comprend une ou deux coques minces en métal ou en composites, qui peuvent être déformées sous l'effet de la pression d'injection. Un premier niveau de vide assure la fermeture du moule. Un second niveau de vide est réalisé dans la cavité pour accélérer l'injection.

h) Autres variantes.- Il existe de multiples autres variantes des procédés LCM, qui peuvent être rattachées à l'une ou l'autre des grandes catégories précédemment décrites. Par exemple, le procédé d'injection VEC utilise des réservoirs contenant un fluide incompressible pour permettre une déformation des parois du moule. Des canaux préférentiels peuvent aussi être créés de diverses façons dans une couche extérieure du renfort (procédé SCRIMP), dans une des parois du moule ou à l'intérieur de la cavité, afin de faciliter l'infusion ou injection du liquide.

La qualité des pièces fabriquées par moulage contact est en moyenne plus faible que celle des pièces injectées. Les coûts de main d'œuvre sont aussi importants, car chaque pli du stratifié doit être positionné précisément et imprégné individuellement à la main. Pendant l'imprégnation du liquide, des bulles d'air sont en général emprisonnées dans le composite. Ceci constitue le principal problème du moulage contact et explique notamment la grande variation observée dans le poids des pièces. Un second inconvénient provient de la difficulté d'obtenir une épaisseur et un taux de fibres constants, deux paramètres critiques qui gouvernent les propriétés mécaniques du composite. Enfin, un autre problème devient de plus en plus aigu en raison des normes gouvernementales de plus en plus sévères : des gaz toxiques se dégagent pendant la fabrication, qui sont nuisibles pour l'environnement et ne respectent pas les conditions d'hygiène et de sécurité requises.

Les procédés LCM fondés sur l'emploi de moules fermés suppriment la majorité des émanations gazeuses. Traditionnellement, le moulage par injection d'un liquide est réalisé au moyen de deux demi-moules rigides : (1) la matrice désigne généralement la partie inférieure du moule qui reste fixe et (2) le poinçon désigne la partie supérieure qui s'ouvre pour démouler la pièce à la fin du cycle de fabrication. Entre ces deux demi-moules se trouve la cavité dans laquelle le renfort est disposé et dans laquelle l'injection aura lieu.

Le procédé RTM et ses variantes VARTM et CRTM sont appropriés pour la fabrication de pièces composites structurales, mais l'obtention d'une épaisseur constante reste difficile à cause du retrait non uniforme de la résine pendant la cuisson. Il n'est pas toujours facile non plus d'éliminer complètement les porosités dans la pièce injectée, même en faisant le vide dans la cavité. Enfin, la plus grosse difficulté est reliée à la durée de l'injection, qui devient rapidement beaucoup trop longue pour des renforts à fort taux de fibres (i.e., dépassant 50%). Bref, l'aspect de surface moyen, la faible précision géométrique des pièces, la limitation sur le taux de fibre et la durée de l'injection restreignent le champ d'application du procédé RTM et de ses procédés dérivés comme le RTM chauffé, le VARTM et l'injection-compression (CRTM). Mentionnons aussi une contrainte particulière du procédé CRTM : en général, la fermeture du poinçon est réalisée selon un axe vertical; il en résulte une compression quasi nulle du renfort dans les zones verticales de la cavité, alors qu'une pression maximale s'exerce dans les zones horizontales. Ce problème, en plus des difficultés de mise au point inhérentes à la complexité du procédé et des risques d'emprisonnement d'air pendant la phase de compression, limite les applications du CRTM.

Récemment, de nouveaux procédés d'imprégnation sous vide sont apparus, qui présentent l'avantage de ne pas nécessiter de contre-moule. Ces procédés dits d'infusion par aspiration de liquide sont beaucoup moins coûteux en terme d'investissement. Le renfort est toujours disposé sur la surface d'un moule, puis il est recouvert d'une membrane imperméable maintenue à sa périphérie. L'air contenu dans la cavité formée entre la membrane et le moule peut être évacué en utilisant une pompe à vide. La pression atmosphérique permet alors de compacter le renfort, tandis que le liquide s'écoule de la source extérieure vers la cavité du renfort dans laquelle une pression de vide est maintenue. Dans ce type de procédé appelé VARTM, l'infusion du liquide dans le renfort est réalisée sous vide et à faible vitesse sous le simple effet de la pression statique due à la gravité. On élimine ainsi l'inclusion de bulles d'air, qui est un des problèmes rencontrés dans les autres variantes d'injection. Le contrôle des dimensions de la pièce et du taux de fibres est en général amélioré, sauf dans les parois verticales des pièces de grande taille, car l'effet de la gravité introduit alors une compaction non uniforme du renfort. Malgré l'apparente simplicité des procédés VARI, des problèmes subsistent car les résines très visqueuses s'écoulent difficilement dans des renforts peu perméables. Les taux de fibres infusés par le VARI sont plus faibles que ceux qui peuvent être injectés par RTM. Comme la résistance à l'écoulement de la résine augmente avec la distance à parcourir, il arrive souvent que certaines parties du renfort restent sèches, tandis qu'un excès de résine se concentre dans d'autres zones.

Afin de résoudre ces problèmes, des variantes de ces procédés ont été mises au point récemment pour augmenter artificiellement la perméabilité locale du renfort et diminuer ainsi le temps de remplissage : feutre perméable de diffusion de résine sur une peau du renfort, réseau de tubes pour distribuer l'écoulement de la résine dans la cavité, canaux préférentiels d'écoulement incorporés à la surface du

5 moule, etc. Toutes ces méthodes présentent des problèmes particuliers.
L'utilisation du feutre perméable entraîne une augmentation de la quantité des
déchets, ce qui est incompatible avec une production de masse. Les réseaux de
tubes et les canaux d'écoulement préférentiels génèrent des difficultés pratiques de
10 mise en œuvre, qui ne peuvent être surmontées qu'au prix d'une période d'essais
généralement coûteuse. Finalement, l'infusion reste toujours excessivement lente
par rapport à l'injection. En effet, le gradient de pression qui gouverne
l'écoulement du liquide est toujours beaucoup plus grand dans un procédé
d'injection, alors que dans l'infusion il ne peut dépasser la valeur de la pression
15 atmosphérique moins la pression de vide créée dans la cavité.

SOMMAIRE DE L'INVENTION

15 Toutes ces difficultés et d'autres non citées amènent à proposer une
méthode novatrice pour fabriquer un matériau composite par injection d'une phase
liquide (la *matrice*) à travers une phase solide, par exemple une phase solide
poreuse (le *renfort*).

20 Conformément à un mode de réalisation illustratif et non limitatif de la
présente invention, la fabrication des pièces composites est fondée sur les principes
combinés de la déformation d'une paroi flexible, de compaction des renforts et de
l'injection simultanée, mais avec un certain déphasage, de la matrice liquide et
d'un fluide de contrôle.

25 Les autres objets, avantages et caractéristiques, ainsi que ceux qui
précèdent, deviendront plus apparents à la lecture de la description qui suit d'un
mode de réalisation illustratif de la présente invention, donné à titre d'exemple non
limitatif avec référence aux dessins annexés.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU MODE DE RÉALISATION ILLUSTRATIF

30 Le mode de réalisation illustratif de la présente invention, baptisé procédé
Polyflex, se rapporte à la fabrication d'un matériau composite par injection d'une
phase liquide (la *matrice*) à travers une phase solide poreuse (le *renfort*). Un
renfort de type fibreux, granulaire ou autre type de matériau poreux est d'abord
35 disposé dans un moule, puis la *matrice* est injectée à l'état liquide pour imprégner
la phase solide. Ce type de procédé appelé « injection sur renforts » est souvent
utilisé pour la fabrication des matériaux composites dont la matrice polymère,
métallique ou céramique est renforcée par des fibres de verre, carbone, kevlar,
métal, céramique, etc. Le champ d'application des procédés d'injection sur renforts
est très vaste : il couvre le domaine des véhicules de transport (marine, automobile,
40 aéronautique) et englobe aussi des applications dans les secteurs biomédical et
électronique. Le mode de réalisation illustratif de la présente invention comprend
quatre variantes principales :

1. Injection dans un moule à double chambre

La première variante du mode de réalisation illustratif de la présente invention est destinée à la fabrication d'une pièce unique dans un moule rigide comportant deux chambres séparées par une couche d'un matériau imperméable. Le matériau de séparation peut être soit une couche mince comme un film plastique ou une membrane élastique par exemple, soit une mousse plus ou moins rigide d'épaisseur non nécessairement constante, ou tout type de matériau, imperméable au liquide, mais éventuellement perméable au gaz. La couche de séparation possède une certaine flexibilité de sorte qu'elle puisse se déformer sous l'effet de la pression du liquide injecté dans la chambre qui contient le renfort (appelée *chambre du renfort*). Ceci a pour effet de faciliter ainsi l'imprégnation du renfort poreux. Cette déformation est toutefois limitée par l'épaisseur de l'entrefer du moule rigide. Noter que cette épaisseur n'est pas nécessairement uniforme; elle peut être ajustée en fonction de la géométrie de la pièce à injecter pour contrôler la forme du front de liquide pendant le remplissage de la cavité. Ensuite, avec un certain retard, un fluide en général incompressible (mais qui pourrait aussi être un gaz) est injecté dans la deuxième chambre (ou *chambre de compression*) afin de réduire progressivement la déformation de la couche de séparation. En réglant ainsi l'épaisseur de la cavité pendant l'injection, on peut changer localement la perméabilité du milieu poreux et contrôler ainsi l'imprégnation du renfort. Les deux principaux avantages du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention sont la rapidité d'injection et le contrôle de la qualité des pièces injectées, tant sur le plan dimensionnel qu'au niveau de la porosité. L'injection du fluide dans la *chambre de compression* permet en outre de consolider le milieu poreux à la fin de l'injection, pendant la cuisson et le refroidissement du composite. Finalement, si la pression de consolidation est dynamique, on a ainsi la possibilité de faire vibrer la pièce composite avant la solidification complète de la *matrice* de façon à expulser complètement et rapidement toute trace de phase gazeuse résiduelle.

2. Canaux d'écoulement préférentiels

Au lieu de créer une *chambre de compression* sur toute la surface de la pièce injectée, une seconde variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention consiste à intégrer des canaux d'écoulement préférentiels dans la partie supérieure du moule. Ceci a pour effet d'accélérer la distribution du liquide dans la cavité. Un résultat optimal peut être obtenu en ajustant la disposition de ces canaux en fonction des caractéristiques de la pièce à injecter.

3. Moule à cavités multiples de type « double chambre »

Enfin, une troisième variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention offre la possibilité de superposer un certain nombre de chambres doubles, afin de fabriquer plusieurs pièces dans un seul

moule. En particulier, en utilisant une mousse compressible d'épaisseur contrôlée pour séparer les couches de renfort, il est possible de fabriquer plusieurs pièces au moyen d'un moule unique.

4. Moule à cavités multiples superposées

Une version simplifiée de la précédente variante sans « double chambre » consiste à séparer les cavités au moyen d'une couche d'un matériau déformable et à injecter séquentiellement le fluide avec un certain retard dans chacune des chambres superposées. La déformabilité des couches de séparation et le déphasage de l'injection dans chacun des renforts superposés joue alors le rôle des chambres de compression de la variante précédente.

La méthode conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention utilisée pour contrôler la pression dans la chambre de compression et la déformation de la couche de séparation pendant l'injection du liquide dans la cavité permet, comparativement aux méthodes d'injection ou d'infusion plus traditionnelles, une injection plus rapide du volume total de liquide requis pour fabriquer la pièce composite. L'imprégnation complète du renfort est contrôlée par l'injection d'un fluide (compressible ou non) dans la chambre du moule qui ne contient pas le renfort (*chambre de compression*). La pression de ce fluide permet de maîtriser la compaction et la consolidation de la pièce à la fin de l'injection et pendant la solidification du liquide. Cette méthode permet de contrôler l'épaisseur, et donc le taux de fibres, dans toutes les sections de la pièce, même dans les parties courbes ou dans celles qui contiennent des « inserts » ou des âmes « sandwich ». Le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention permet de fabriquer des composites à fort taux de fibres. L'aspect de surface est aussi amélioré parce qu'un contact direct peut être imposé avec la partie rigide de la cavité pendant la solidification de la matrice. Le procédé est utilisable pour toutes les géométries de pièces composites, et pour tous les types et combinaisons de renfort et de matrice.

Tel que mentionné précédemment, une première variante est obtenue en créant des canaux préférentiels dans la paroi supérieure du moule. Une seconde variante est introduite avec des chambres doubles multiples superposées, qui permettent de fabriquer dans un seul moule une série de pièces identiques. Enfin, dans une troisième variante, plusieurs cavités contenant les renforts sont superposées, la séparation entre celles-ci étant assurée par une couche d'épaisseur contrôlée d'un matériau compressible comme une mousse polymère par exemple. Le déphasage de l'injection dans chaque chambre permet de contrôler l'épaisseur de la cavité dans une chambre inférieure au moyen de l'injection qui a lieu dans la chambre immédiatement supérieure.

1. Injection dans un moule à double chambre

Le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention décrit ici dans le cas général d'un moule à « double chambre » peut être utilisé de différentes manières pour différents types de pièces. Un exemple est donné à titre d'illustration dans le cas d'une plaque afin de démontrer les principales caractéristiques de ce procédé. Il s'agit du processus de fabrication d'un composite par injection d'une matrice liquide à travers un renfort poreux avec solidification subséquente du liquide soit par refroidissement, soit par réaction chimique comme dans le cas des polymères thermodurcissables (cuisson). La description suivante est fondée sur le mode opératoire préconisé pour mettre en oeuvre le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention. Chaque étape du processus de fabrication est décrite au moyen de schémas explicatifs détaillés.

Un moule d'injection pour le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention comprend trois composantes principales :

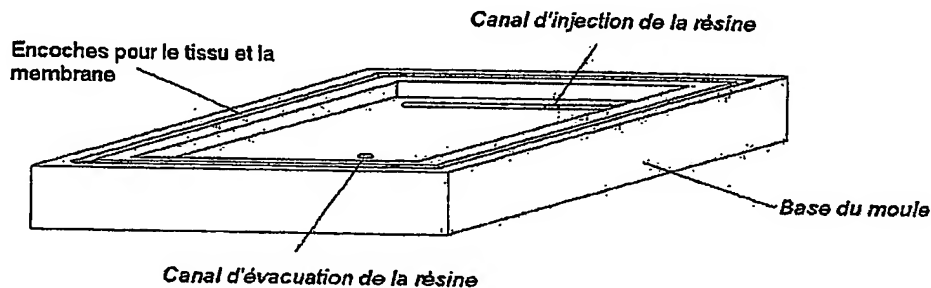
- (1) une partie inférieure rigide du moule délimitant une cavité appelée *chambre du renfort*, dans laquelle le renfort est disposé et le liquide injecté pour constituer le composite;
- (2) une partie supérieure rigide du moule délimitant une autre cavité appelée *chambre de compression*, dans laquelle un fluide est injecté avec un temps de retard par rapport à la matrice liquide injectée dans la *chambre du renfort*;
- (3) une couche en matériau flexible permettant de séparer la cavité du moule en deux chambres d'épaisseur variable, la *chambre du renfort* et la *chambre de compression*.

La partie inférieure du moule est identique à celle des moules traditionnels RTM rigides. Elle sera nommée par la suite *base du moule*, tandis que la partie supérieure du moule est appelée *contre-moule*. La *base du moule* est représentée sur les figures ci-dessous dans le cas d'une plaque plane rectangulaire. La *base du moule* est fabriquée aux dimensions de la pièce à injecter et contient un ou plusieurs canaux d'évacuation d'air reliés à une pompe à vide (non représentée ici). Dans l'option chauffée du procédé, des canaux de chauffage et de refroidissement peuvent aussi être incorporés à l'une ou aux deux parties du moule. Un seul *canal d'évacuation d'air* est représenté dans l'exemple considéré ici, mais plusieurs canaux d'évacuation peuvent être utilisés. La *base du moule* contient également un ou plusieurs canaux d'injection de liquide reliés à une source unique (non représentée ici). Un seul *canal d'injection* est représenté dans l'exemple considéré ici, mais plusieurs canaux d'injection peuvent être utilisés.

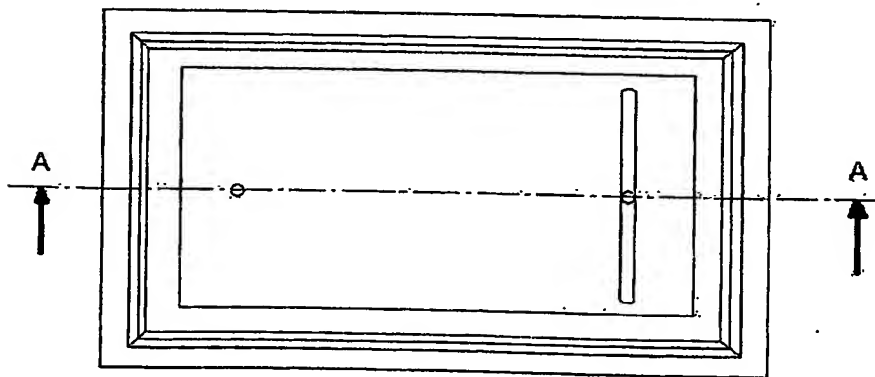
La finition de la *surface de contact* du moule avec la pièce dépend de l'aspect de surface souhaité pour la pièce. C'est grâce à la qualité de cette finition

- 5 que le meilleur aspect de surface pourra être obtenu. Habituellement, la *base du moule* est fabriquée en métal, mais elle peut être aussi constituée de n'importe quel matériau habituellement utilisé pour fabriquer les moules d'injection, par exemple une mousse d'époxy/aluminium ou un matériau composite multicouche. La *base du moule* dispose d'encoches (représentées ici avec une section triangulaire) ou de joints, qui maintiennent le renfort et assurent l'étanchéité du moule au niveau de la couche de séparation (*membrane*).

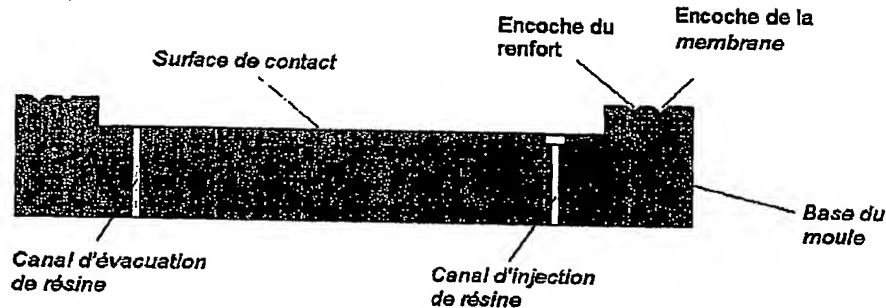
10 Vue en perspective de la base du moule



15 Vue de dessus



Coupe A-A

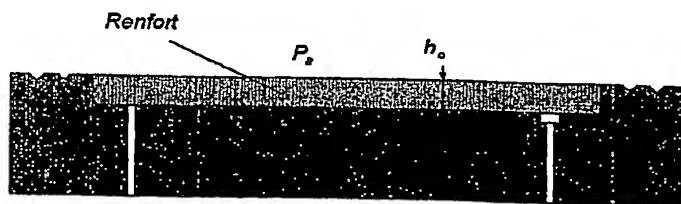


5 Tel qu'illustré sur la figure ci-dessus, tous les schémas ultérieurs seront présentés selon une coupe verticale AA prise au centre du moule. Dans la suite les étapes successives du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention sont décrites séquentiellement comme suit : (1) dépôt du renfort dans la cavité du base du moule; (2) mise en place de la couche de séparation; (3) fermeture du moule; (4) application optionnelle du vide dans la chambre du renfort; (5) injection de la résine; (6) injection du fluide de contrôle; (7) compaction du composite; (8) solidification de la pièce; (9) éjection du moule.

1.1 Dépôt du renfort

15 Le renfort fibreux granulaire ou poreux est d'abord disposé dans la cavité de la base du moule. Dans le cas des renforts fibreux, des tissus ou des mats en verre, carbone, aramide, etc. peuvent être utilisés. Ce renfort constitue le « squelette » du matériau composite, par opposition au liant ou *matrice* fourni par le liquide injecté. Soumis à la pression atmosphérique P_a , l'épaisseur naturelle du renfort sans compaction est notée h_a .

Coupe A-A

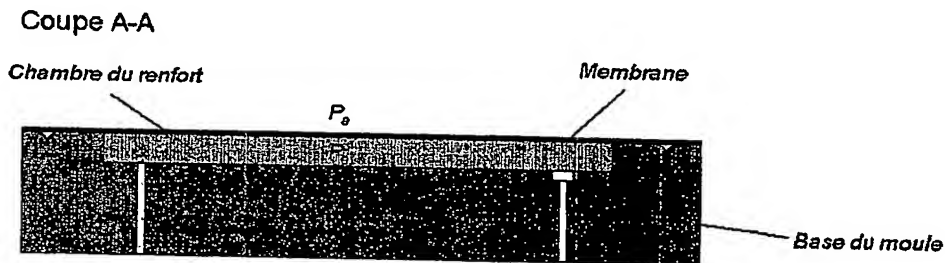


20 1.2 Mise en place de la couche de séparation

La couche de séparation est imperméable et suffisamment flexible pour être déformée sous l'effet de la pression du liquide injecté. Appelée ici *membrane*, la couche de séparation peut être soit un film plastique mince, une membrane élastique ou tout autre matériau. Par exemple, le matériau de séparation le moins

coûteux sera choisi. La membrane est disposée de manière à couvrir tout le *renfort*. La *base du moule* et la *membrane* délimitent un espace contenant le renfort appelé *chambre du renfort*.

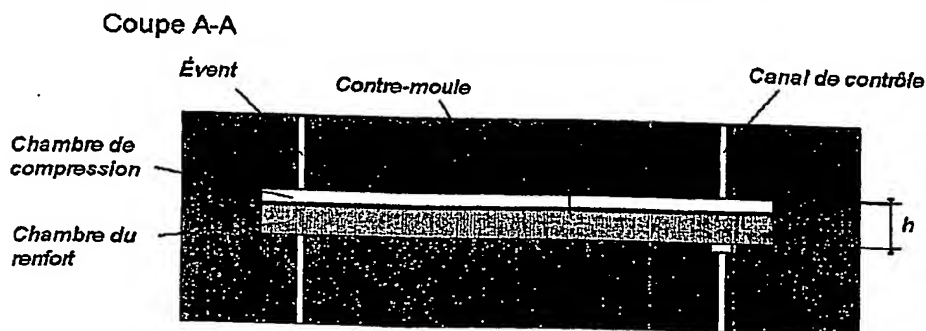
5



1.3 Fermeture du moule

La partie supérieure du moule ou *contre-moule* est représentée sur les figures qui suivent. Le *contre-moule* contient aussi une cavité dont la géométrie est déterminée en fonction de la pièce injectée. L'aspect de la surface interne de cette cavité n'a pas besoin d'être d'aussi bonne qualité que la *surface de contact* de la *base du moule*. Le *contre-moule* dispose aussi d'un ou plusieurs canaux d'injection reliés à une source de fluide pressurisée non représentée ici. Un seul *canal de contrôle* apparaît ici, par exemple placé à l'opposé du *canal d'injection* de la *chambre du renfort*, mais clairement plusieurs pourraient être utilisés. Le *contre-moule* dispose également d'un ou plusieurs canaux d'évacuation d'air. Un seul canal d'évacuation nommé *évent* est représenté.

Le *contre-moule* et la base du moule délimitent ainsi une cavité ou *entrefer* qui contient deux chambres séparées par la couche de séparation (*membrane*). On note h l'épaisseur totale de cette cavité. La chambre supérieure délimitée par le *contre-moule* et la *membrane* flexible, appelée *chambre de compression*, a une épaisseur h_f . Le *contre-moule* est fixé sur la base du moule grâce à des encoches, rainures qui s'emboîtent ou joints de manière à assurer l'étanchéité des deux chambres, celle contenant le *renfort* et la *chambre de compression*.

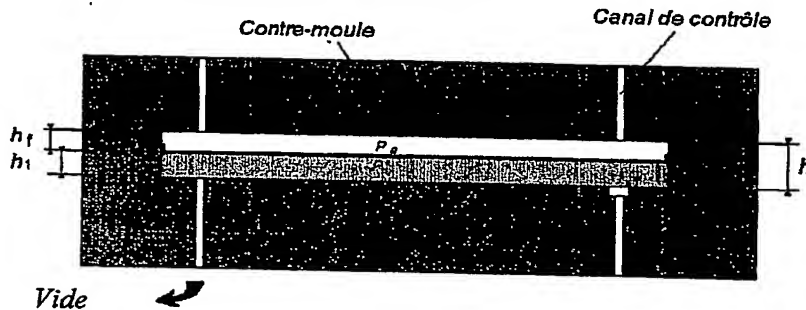


25

1.4 Application optionnelle du vide dans la chambre du renfort

Par l'intermédiaire du *canal d'évacuation* et grâce à une pompe à vide, la pression dans la *chambre du renfort* est fixée à une valeur P_v , appelée pression de vide, plus faible que la pression atmosphérique P_a . Dans ce cas, la pression résultante appliquée sur le renfort, soit la pression atmosphérique P_a moins la pression de vide P_v , comprime le *renfort* jusqu'à une épaisseur $h_v < h_o$.

Coupe A-A

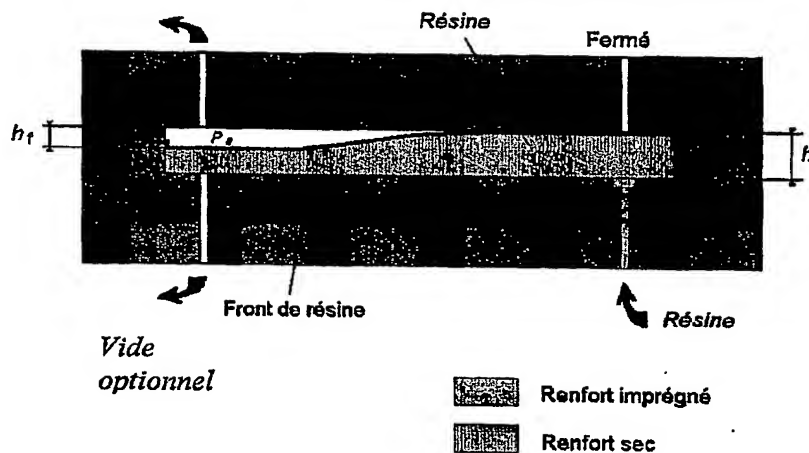


1.5 Injection du liquide

L'un des intérêts du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention réside dans la possibilité d'injecter sous pression en quelques secondes seulement toute la résine nécessaire pour la fabrication de la pièce. Bien que mode de réalisation illustratif de la présente invention soit décrit en relation avec de la résine, on doit garder à l'esprit que tout autre liquide capable de former la matrice peut être utilisé avec les mêmes avantages.

Contrairement aux autres procédés où la résine doit être injectée d'une manière continue jusqu'à ce que le *renfort* soit entièrement imprégné, le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention permet, entre autres, une injection très rapide de toute la quantité de liquide requise pour imprégner le renfort sans attendre un remplissage complet du *renfort*. Ceci permet de minimiser le temps d'utilisation du dispositif d'injection et de réaliser ainsi plusieurs pièces à la fois avec une série de moules superposés ou non. La résine injectée sous pression gonfle la *membrane*, qui vient alors occuper une partie de la *chambre de compression*. Le *renfort* est imprégné seulement sur une partie de son volume total. En raison de l'injection du liquide, l'épaisseur de la *chambre du renfort* augmente jusqu'à atteindre la valeur h maximale de l'entrefer. Lorsque tout le liquide a été injecté dans la *chambre du renfort*, le *canal d'injection* du liquide est fermé, tandis que l'*évent* permet à l'air contenu dans la *chambre de compression* d'être évacué.

Coupe A-A



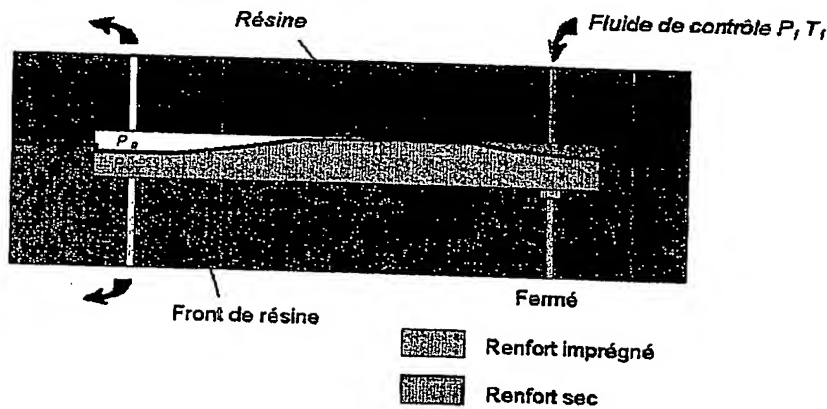
1.6 Injection du fluide de contrôle

Le fluide utilisé peut être un gaz ou un liquide comme l'eau, l'huile ou tout autre fluide répondant aux exigences souhaitées. Ce fluide est injecté à travers le canal de contrôle à une température T_f et à une pression P_f . Le chauffage du fluide de contrôle constitue un autre moyen pour réguler la température dans la chambre du renfort. En particulier, une température élevée diminue la viscosité du liquide et facilite ainsi son écoulement à travers le renfort.

La pression appliquée par le fluide de contrôle sur la membrane compacte le renfort et le liquide à travers l'épaisseur de la pièce et entraîne l'écoulement du liquide en direction des zones non imprégnées du renfort. La température T_f du fluide de contrôle facilite aussi l'écoulement à travers la chambre du renfort. Le procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention présente ainsi l'avantage de contrôler la progression du front de liquide à travers le renfort.

Un autre aspect mérite également d'être mentionné : l'épaisseur h de l'entrefer du moule n'a pas besoin d'être uniforme sur toute la surface de la pièce injectée. En effet, une épaisseur variable déterminée au moyen d'un logiciel de simulation permet d'assurer, en fonction des caractéristiques de perméabilité du renfort et selon la géométrie de la pièce, une progression quasi-uniforme du front de liquide dans les zones d'écoulement divergentes ou convergentes de la chambre du renfort ou autour des « inserts ». Une telle approche respecte les conditions relatives à la vitesse optimale d'imprégnation partout dans la pièce tout en diminuant la durée du remplissage.

Coupe A-A



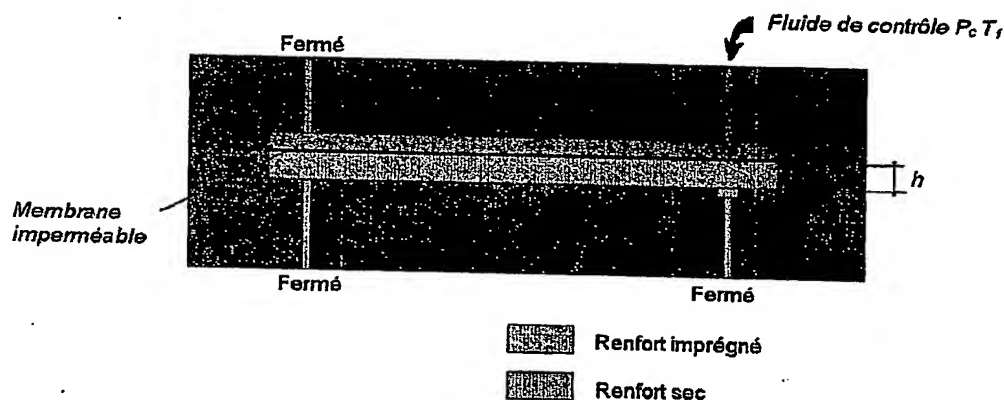
1.7 Compaction du composite

Lorsque la *chambre de compression* est complètement remplie, la pression du *fluide de contrôle* peut être augmentée jusqu'à une valeur P_c , dite *pression de compaction*, afin de comprimer le *renfort saturé* par le liquide. La pression appliquée à la fin de l'injection permet ainsi de compléter l'imprégnation du *renfort*, de mettre la pièce à la cote et surtout, de s'assurer que le renfort saturé épouse parfaitement l'empreinte de la base du moule. En effet, la pression de compaction s'appliquant de manière isotrope, i.e., dans toutes les directions, la pièce injectée est compactée d'une manière uniforme, quelles que soient ses particularités géométriques. En outre, il est possible de maintenir la *pression de compaction* pendant la phase de solidification. Ceci permet à la pièce finale de reproduire le fini de surface de la paroi inférieure du moule. Cette caractéristique du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention lui confère un avantage sur les autres variantes d'injection dans un moule rigide, comme les procédés RTM, VARTM ou CRTM. En effet, dans ces procédés, l'absence de compaction pendant la solidification du composite est à l'origine des ondulations et de la rugosité de surface de la pièce injectée qui résultent du retrait de polymérisation dans le cas des polymères thermodurcissables et/ou de la contraction du liquide pendant le refroidissement. Ce retrait non contrôlé entraîne un aspect de surface médiocre, car la surface de la pièce injectée ne reproduit pas la qualité du fini de la paroi inférieure du moule.

La pression de compaction P_c étant supérieure à la pression atmosphérique, l'épaisseur finale du composite peut être contrôlée beaucoup plus facilement que dans les procédés d'infusion et des pièces avec un taux de fibres plus important peuvent être fabriquées. À noter que la *pression de compaction* P_c demeure cependant en deçà de la valeur limite qui entraînerait une déformation permanente

du *contre-moule*. De cette façon, un moule moins rigide peut être utilisé, ce qui diminue les coûts de fabrication.

Coupe A-A



Un autre aspect intéressant apporté par le mode de réalisation illustratif de la présente invention réside dans la possibilité de réaliser une consolidation dynamique au renfort saturé de liquide comme dans la variation VRTM (« *Vibration Resin Transfer Molding* ») du procédé RTM. La vibration ainsi imposée au milieu poreux contribue à expulser la phase gazeuse résiduelle emprisonnée dans les micropores du renfort fibreux à la fin de la phase de compaction.

1.8 Solidification de la pièce

La base du moule est portée à la température souhaitée pour la solidification de la pièce ou la cuisson du composite au moyen de résistances thermiques ou de tout autre système de chauffage. Dans le cas des composites à matrice polymère thermodurcissable, la cuisson permet de solidifier la résine par un phénomène physico-chimique connu sous le nom de réticulation. Cette solidification confère au composite ses propriétés de résistance mécanique, sa tenue en corrosion, etc. Durant cette phase, la *pression de compaction* assure un contact continu de la pièce composite avec la surface inférieure du moule.

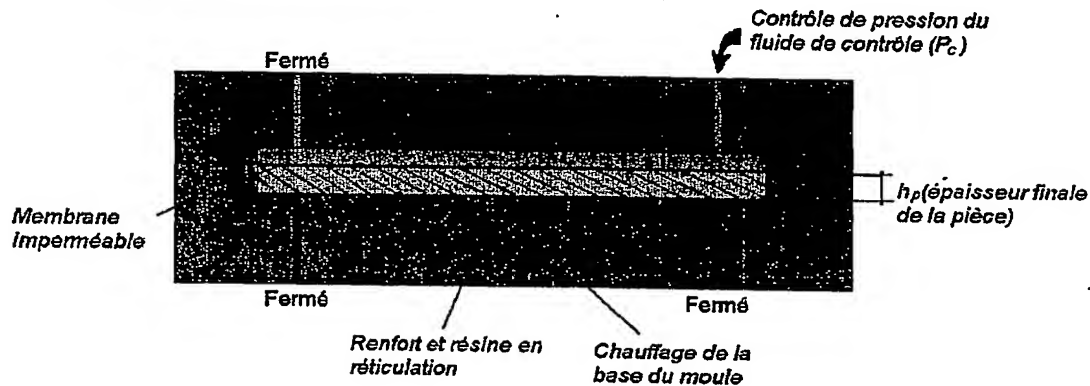
Le contact direct de la pièce avec la paroi inférieure du moule assure une bonne reproduction de la *surface de contact* et la conformité géométrique de la pièce. La méthode conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention permet aussi de contrôler la réticulation de la résine en réglant la température de la paroi inférieure du moule, et éventuellement aussi, celle du *fluide de contrôle*.

Il est également possible de cuire la résine en utilisant un rayonnement ultra-violet (UV). Dans ce cas, les parois du moule et la membrane sont

transparents à ce type de rayons. Selon les propriétés souhaitées pour le composite ainsi que selon les moyens disponibles, le choix de la méthode de cuisson se portera vers l'une ou l'autre des méthodes proposées.

5

Coupe A-A



1.9 Éjection du moule

Une fois la solidification achevée, la température de la partie inférieure du moule est abaissée en supprimant le chauffage ou éventuellement, au moyen d'un système de refroidissement. Par exemple, l'éjection du *fluide de contrôle* par de l'air froid contribue à refroidir la pièce avant son démoulage. Puis le fluide est évacué de la *chambre de compression* grâce à une pompe non représentée. Une fois l'évacuation du fluide terminée, le moule est ouvert en retirant sa partie supérieure. La couche de séparation est retirée. S'il s'agit d'un film plastique, celui-ci peut être jeté. Ensuite, au moyen des méthodes habituelles de démoulage (jets d'air comprimé, éjecteurs mécaniques, etc.), la pièce est extraite de la *base du moule*. En général, le démoulage est facilité par l'utilisation d'un agent démoulant déposé sur la paroi inférieure du moule avant la mise en place du renfort.

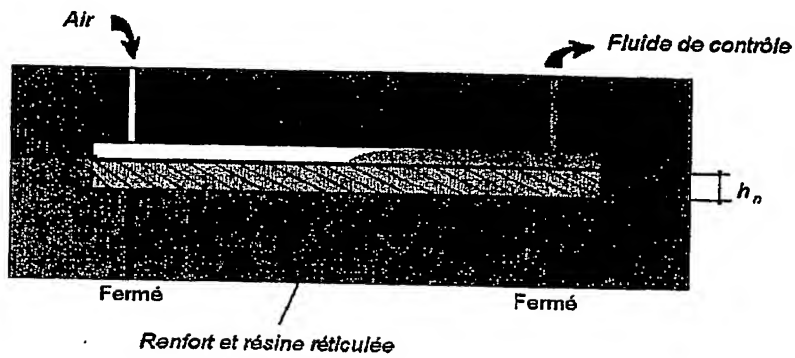
20

25

30

Évacuation du fluide

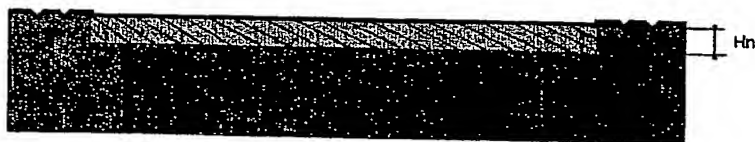
Coupe A-A



5

Ouverture du moule

Coupe A-A

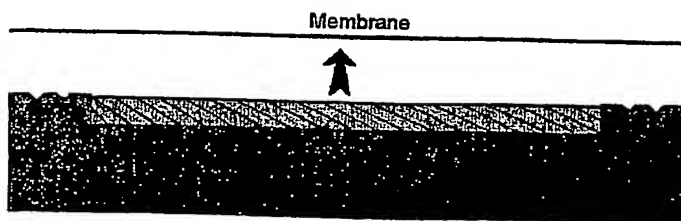


10

Retrait de la membrane

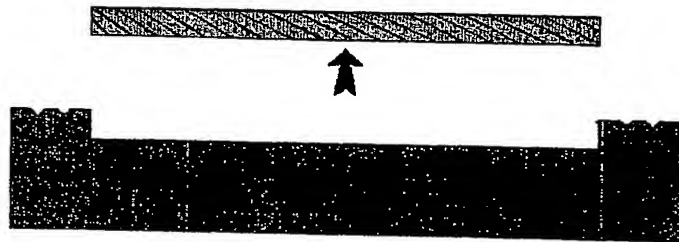
15

Coupe A-A



Éjection de la pièce

Coupe A-A



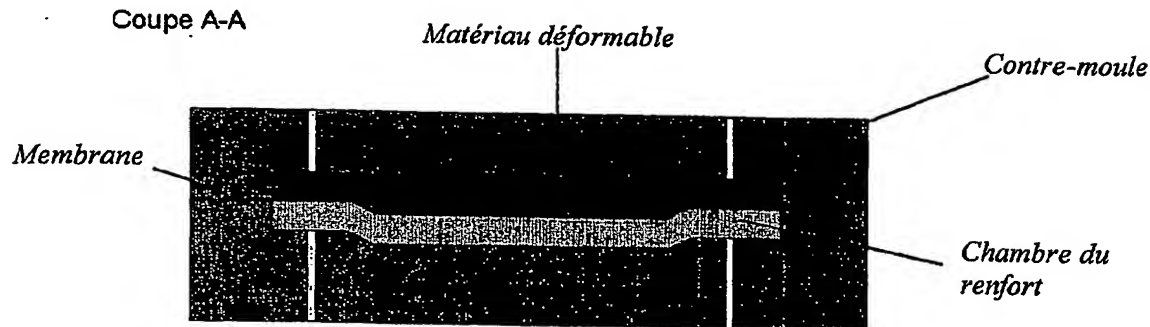
5 1.10 Variantes du procédé de base

Deux variantes du procédé de base sont proposées ici, qui évitent d'avoir à usiner la surface d'un *contre-moule* :

a) Utilisation d'une mousse déformable

10 La première permet d'accélérer la vitesse d'injection du *fluide de contrôle* dans la *chambre de compression*. L'idée retenue consiste à remplir la *chambre de compression* avec un matériau poro-élastique déformable, par exemple une mousse polymère ou un autre type de matériau poreux à pores ouverts ou fermés. Un tel matériau occupera un certain volume de la *chambre de compression* tout en permettant en raison de sa déformabilité le fluage de la *résine* à la surface du *renfort*. La quantité de *fluide de contrôle* à injecter dans la *chambre de compression* s'en verra ainsi diminuée. L'élasticité du matériau devra être
15 suffisante pour faciliter l'injection de la *résine*.

20 Une fois l'injection du liquide (*résine* par exemple) terminée, le *fluide de contrôle* est ensuite injecté dans le matériau à pores ouverts pour contrôler le fluage de la *résine* dans le *renfort*. La pression appliquée au *fluide* s'ajoute à la rigidité naturelle de la mousse. Étant donné que le matériau poro-élastique occupe déjà un certain volume, la quantité de *fluide* injecté sera diminuée par rapport au procédé de base. Dans le cas d'un matériau à pores fermés, l'injection du *fluide de contrôle* créera un film dans la *chambre de compression* entre la membrane et la
25 mousse. Ce principe consistant à placer un matériau poro-élastique dans la *chambre de compression* peut également être appliqué aux autres variantes du mode de réalisation illustratif de la présente invention.



Un autre avantage résulte de l'emploi d'un matériau déformable comme couche de séparation. Un tel matériau est en effet beaucoup plus facile à usiner que le métal. Au lieu d'usiner le *contre-moule* à la forme de la partie supérieure de la pièce (en laissant un entrefer pour créer un espace servant de *chambre de compression*), la mousse sera usinée sur une face seulement, l'autre face venant s'insérer dans la partie supérieure rigide du *contre-moule*. À noter que cette mousse, au lieu d'être usinée, pourrait être injectée dans la cavité créée par la base du moule et le cadre supérieur. Il faudrait toutefois que le moule contienne une première pièce afin que la mousse injectée puisse prendre l'empreinte de la partie supérieure de la pièce.

b) *Chambre de compression universelle*

Le renfort est recouvert d'une membrane sous laquelle on fait le vide. La partie supérieure du moule est une simple chambre, qui ferme la zone du moule et permet une mise en pression à une valeur supérieure à la pression atmosphérique, soit à l'aide d'un gaz, soit avec un liquide. Comme dans l'option précédente dans laquelle la double chambre est remplie par une mousse déformable, cette approche évite l'usinage d'un contre-moule. Le moule est fermé par une chambre de compression universelle unique ou compartimentée par zones, qui s'ajuste automatiquement grâce à la membrane flexible à la géométrie de la pièce. Cette chambre universelle peut effectuer la mise en pression du renfort de trois façons différentes :

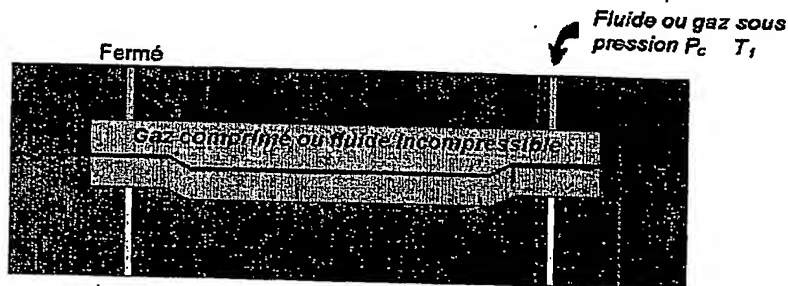
- i) *Gaz comprimé.*- Ceci représente la façon la plus simple de comprimer le renfort. Toutefois, la compressibilité du gaz rend plus difficile le contrôle de la déformation de la membrane pendant l'injection.
- ii) *Fluide incompressible.*- Cette approche permet d'exercer une compression isotrope sur le renfort. En raison de l'incompressibilité du fluide, les déformations locales de la membrane dans la zone saturée impliquent une déformation dans la direction opposée et de même volume dans la zone non saturée. Ce phénomène empêche également de bien contrôler l'écoulement.
- iii) *Combinaison d'un fluide incompressible et d'un tube pressurisé.*- Cette dernière variante présente trois avantages : (1) une pression isotrope s'exerce sur le renfort; (2) la pression du fluide peut être contrôlée à chaque instant en changeant la pression dans le tube; (3) le contre-moule est beaucoup plus léger

19.

que dans le cas du fluide incompressible, ce qui facilite considérablement et diminue le coût des opérations de production. La chambre de compression peut être compartimentée en zones, et les tubes pressurisés aussi par zones.

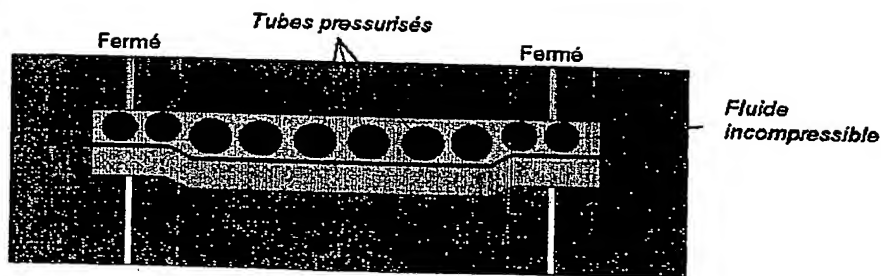
5 Cas (i) et (ii)

Coupe A-A



10 Cas (iii)

Coupe A-A



15 À noter que dans tous les cas la température de la chambre de compression peut être modifiée et contrôlée facilement par celle du fluide de pressurisation. Le cas (iii) présente l'avantage de pouvoir chauffer (ou refroidir) avec le fluide incompressible, tandis que les tubes pressurisés permettront d'évacuer (ou de dégager) une certaine quantité de chaleur.

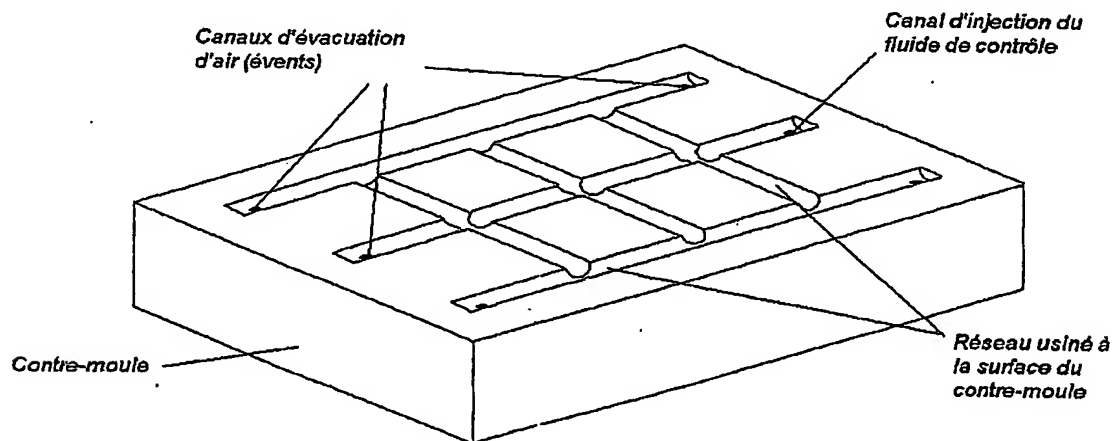
20 2. Canaux d'écoulement préférentiels

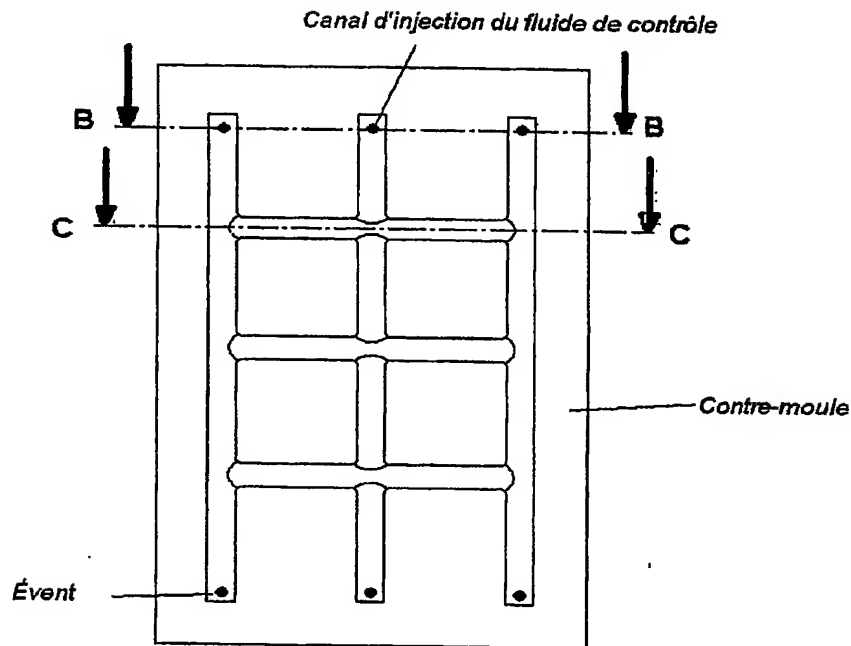
Une variante intéressante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention consiste à utiliser des canaux d'écoulement

préférentiels dans la partie supérieure du moule. Dans la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention, le liquide se déplace sur toute la surface de la pièce. Cet écoulement est certes plus rapide que dans les autres procédés d'injection sur renforts mais la méthode des canaux d'écoulement préférentiels permet de réduire au maximum le temps d'injection du liquide. La longueur du parcours moyen des particules de liquide dans le moule peut ainsi être diminuée considérablement.

Le principe de base reste le même : faire le vide dans le renfort à l'aide de la membrane et d'une pompe à vide, injecter sous pression en une seule fois tout le liquide nécessaire pour fabriquer la pièce et enfin, utiliser un *fluide de contrôle* pour comprimer le *renfort* saturé et accélérer l'écoulement en direction de la partie sèche du *renfort*. La modification intervient au niveau de la répartition du liquide après l'injection. L'objectif est de recouvrir avec le liquide la plus grande surface possible du *renfort* avant d'utiliser le *fluide de contrôle*. La *base du moule* reste identique à celle de la méthode générale. Par contre, des canaux d'écoulement préférentiels sont usinés sur la partie supérieure du moule. Pendant l'injection de la résine sous pression, la membrane déformée par le liquide épouse la forme de la *surface de contrôle* située sur la partie supérieure du moule, qui contient les canaux d'écoulement préférentiels. Ainsi un quadrillage de canaux remplis de liquide est créé sur la peau supérieure du *renfort*. Dans l'exemple ci-dessous, la géométrie de la pièce reste une plaque plane rectangulaire. Le réseau de canaux est lui aussi simplifié : il s'agit ici d'un simple quadrillage rectangulaire. Dans le cas général, la géométrie de ce réseau devra être adaptée à celle de la pièce afin de favoriser l'écoulement du liquide dans les zones compliquées.

Vue en perspective du contre-moule



Vue de dessus du contre-moule

5

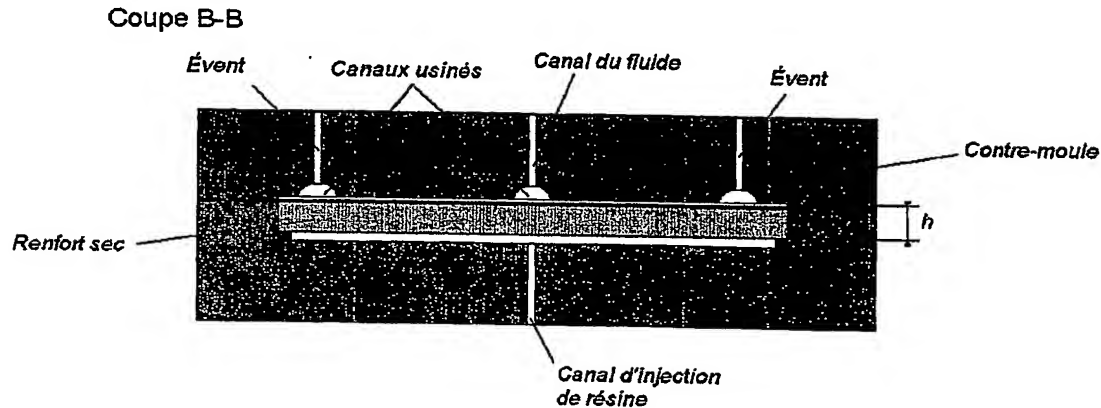
Les schémas illustrant les différentes étapes du remplissage du moule, soit l'injection du fluide, puis la compression du renfort, sont représentés selon les coupes B-B et C-C. La mise en œuvre du procédé avant le début de l'injection du liquide reste identique au cas de la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention, tel que décrit précédemment.

15

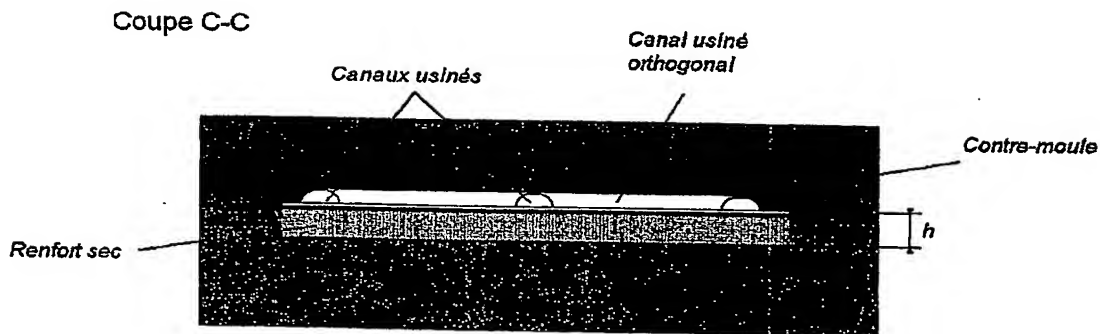
20

25

Après application du vide dans la chambre du renfort



5

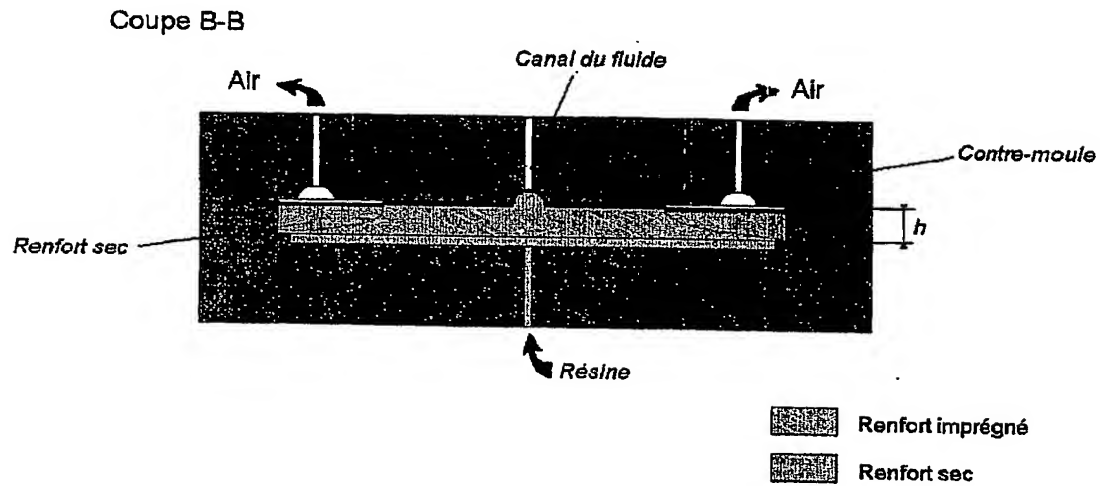


10

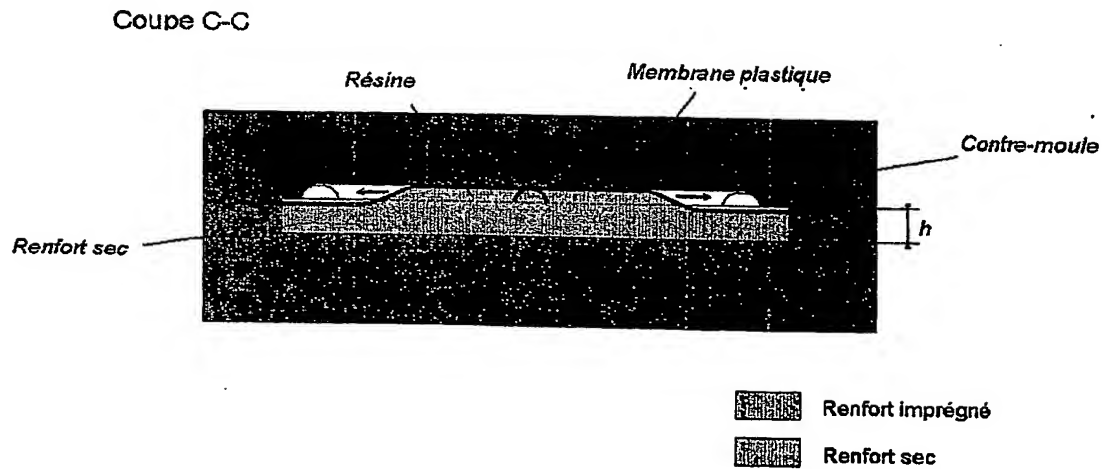
2.1 Injection du liquide

Le liquide injecté sous pression va imprégner le renfort dans la zone proche des canaux d'injection, mais la majeure partie du liquide s'écoule à travers l'épaisseur du renfort et remplit d'abord les canaux d'écoulement préférentiels usinés sur la surface supérieure du moule. La distance entre la surface du contre-moule et la membrane avant application du vide est suffisamment faible afin de limiter l'espace permettant au liquide de s'écouler à la surface du renfort.

20

a) Début de l'injection du liquide

5

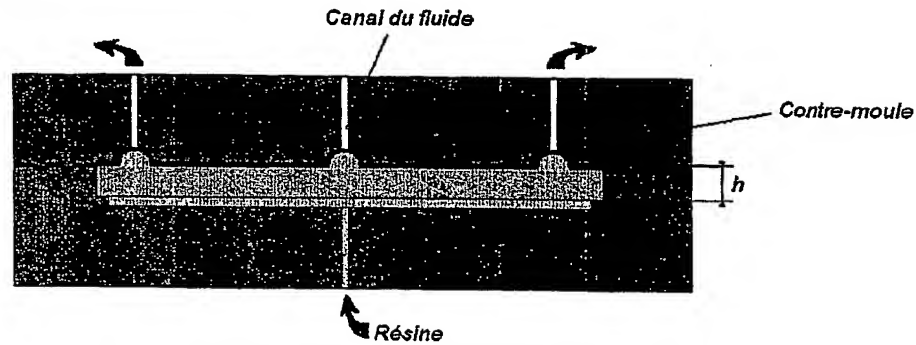


10 Le liquide se déplace très rapidement à la surface du *renfort* en empruntant les canaux usinés dans le moule supérieur. Le liquide est séparé du moule supérieur par la *membrane* déformable.

15

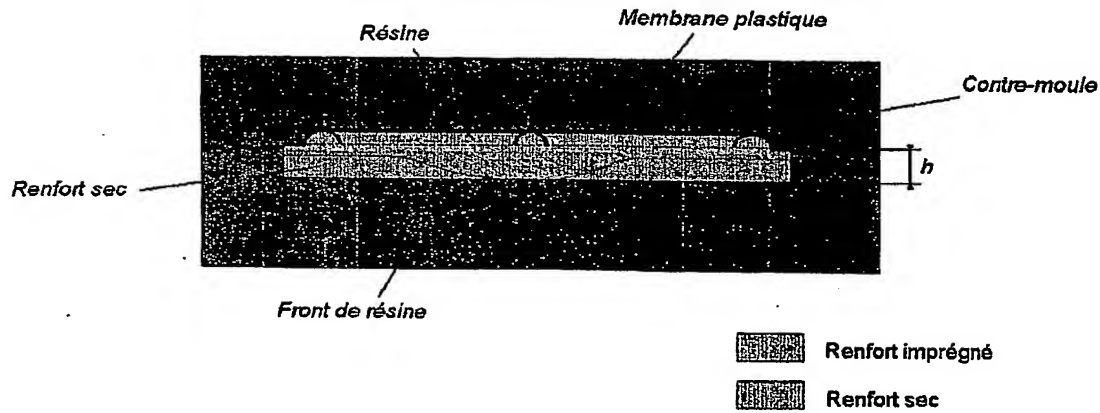
b) Fin de l'injection du liquide

Coupe B-B



5

Coupe C-C



10

Dans le cas général, le *renfort* n'est pas imprégné sur toute son épaisseur, ni sur toute sa longueur. Par contre, tous les canaux préférentiels sont remplis de liquide. Sachant que tout le volume de liquide requis est injecté en une fois, les canaux sont dimensionnés pour recevoir la quantité prévue de liquide.

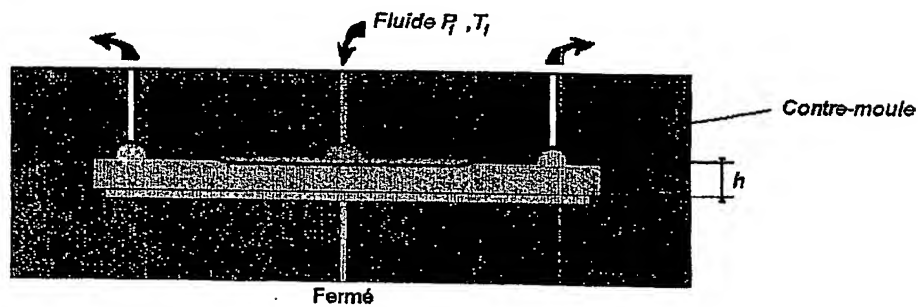
15

2.2 Injection du fluide de contrôle

a) Début de l'injection du fluide de contrôle

Le même principe que dans la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention est utilisé pour injecter à une pression P_f et une température T_f le fluide de contrôle dans la cavité comprise entre la paroi supérieure du moule et la membrane. L'injection du fluide de contrôle dans les canaux usinés entraîne le fluage de la résine au travers du renfort.

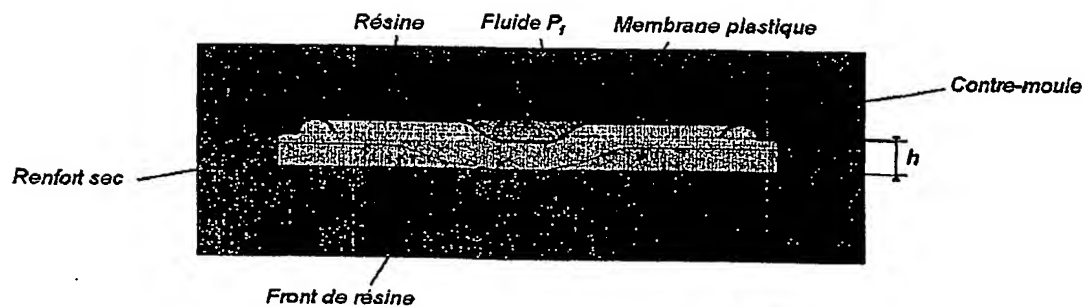
Coupe B-B



Renfort imprégné

Renfort sec

Coupe C-C



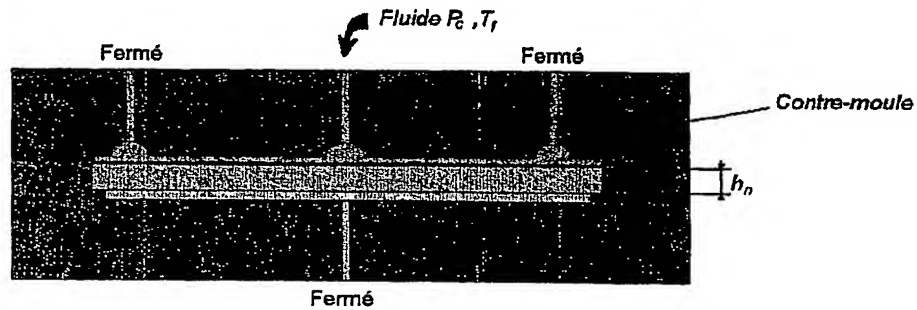
Renfort imprégné

Renfort sec

b) Compaction du composite

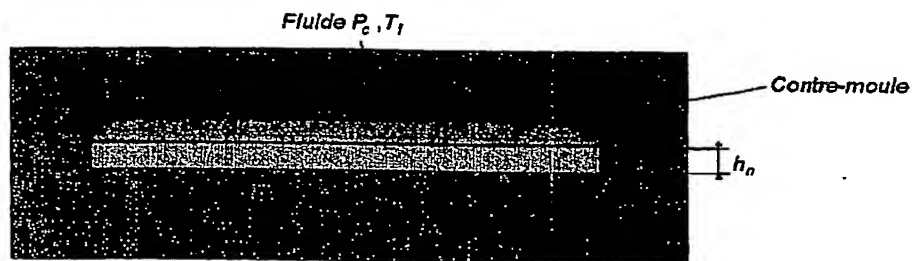
Une fois l'injection du *fluide de contrôle* complétée, la pression de celui-ci est augmentée jusqu'à une valeur P_c afin de terminer l'imprégnation du renfort par la résine et de compacter le composite. Le principe de fonctionnement ne change pas par rapport au cas général.

Coupe B-B



Renfort imprégné
Renfort sec

Coupe C-C



Renfort Imprégné
Renfort sec

c) Solidification et démoulage du composite

La cuisson ainsi que le démoulage du composite ne diffèrent en rien de la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention.

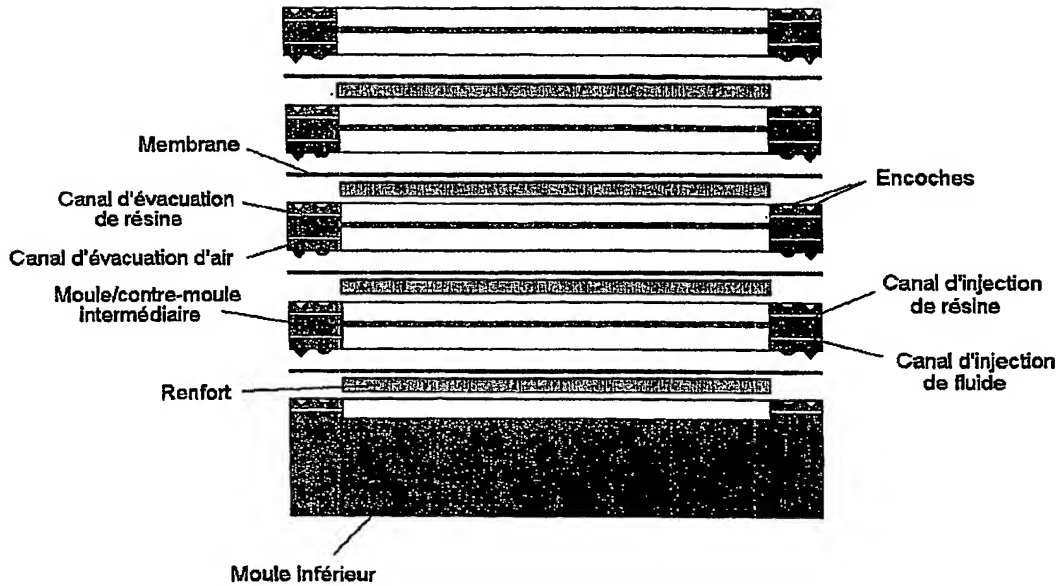
5

5. *Moule à cavités multiples de type « double chambre »*

Cette approche permet la fabrication simultanée de plusieurs pièces structurales en composite avec des moules rigides constitués par la superposition d'un certain nombre de cavités à « double chambre ». Dans le domaine des composites, l'idée de fabriquer la même pièce en plusieurs exemplaires avec un seul dispositif d'injection a déjà été abordée de diverses façons. La méthode proposée ici constitue une extension du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention. Comme pour tous les essais réalisés jusqu'à présent, cette méthode est fondée sur l'empilement de couches de renfort séparées par une plaque en métal ou en mousse plus ou moins rigide, comportant sur une surface l'empreinte mâle de la pièce à réaliser et sur l'autre l'empreinte femelle. La méthode proposée ici consiste à reproduire le principe décrit dans le cas général du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention au niveau de chaque ensemble renfort/plaque. Un exemple de superposition est représenté ci-dessous pour la fabrication d'une série de pièces composites rectangulaires planes.

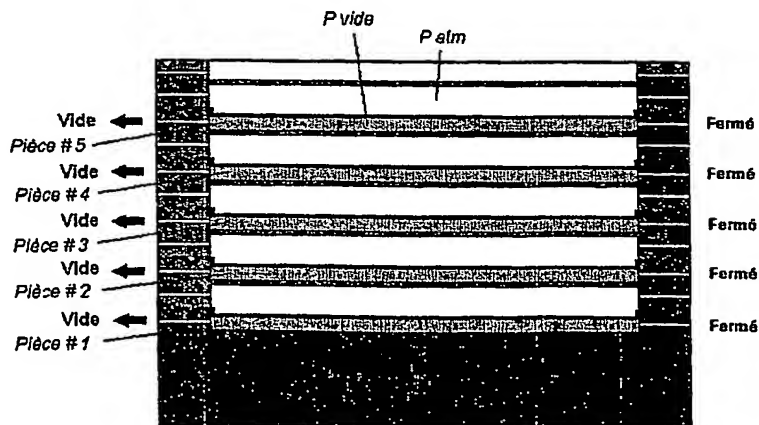
Chaque couche constituée du *renfort*, de la *membrane*, de la *base du moule* et du *contre-moule* va être utilisée de la même façon que dans la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention. Chaque renfort est d'abord imprégné avec la résine, puis comprimé entre le moule métallique d'un côté et la membrane mise en pression par le fluide de contrôle de l'autre. Les avantages de cette approche sont les suivants :

- Fabrication de plusieurs pièces identiques en même temps et dans le même moule.
- Même taux de compression sur toutes les pièces.
- La pièce est maintenue sans risque d'altération (pliage...) par les pressions appliquées sur chaque face.
- La chaleur dégagée par la cuisson d'une pièce est utilisée pour la cuisson de la pièce située au-dessus.



a) Moule fermé et application du vide dans les chambres du renfort

- 5 Par application du vide dans la *chambre du renfort*, la pression dans cette chambre diminue jusqu'à la valeur P_{vide} . La *chambre de compression* est à la pression atmosphérique P_{atm} car le canal d'injection de fluide est ouvert.

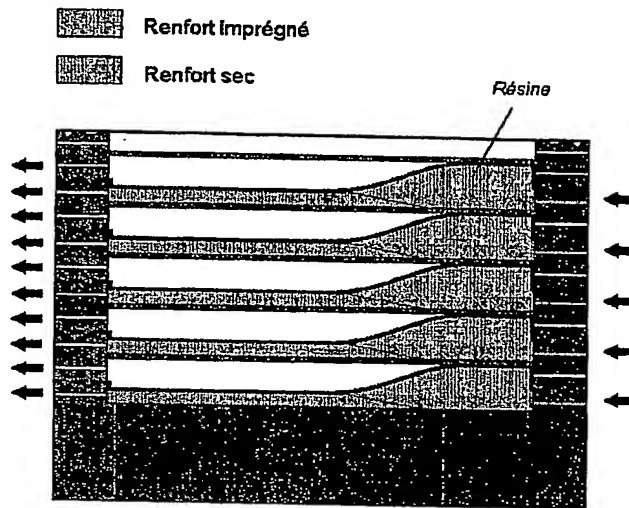


10

b) Début de l'injection de la résine

La résine est injectée par les *canaux d'injection de résine* de chaque ensemble moule/contre-moule. La résine peut être injectée simultanément dans

toutes les *chambres du renfort* ou avec un décalage entre chaque injection. Le schéma représente ici une injection simultanée.

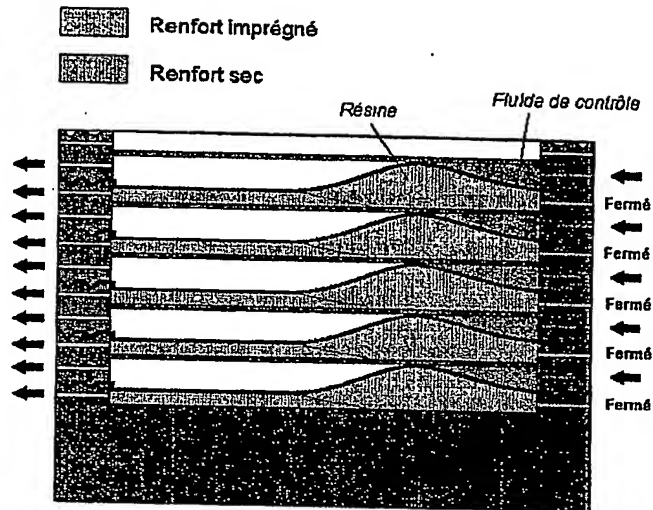


5

c) Injection du fluide de contrôle

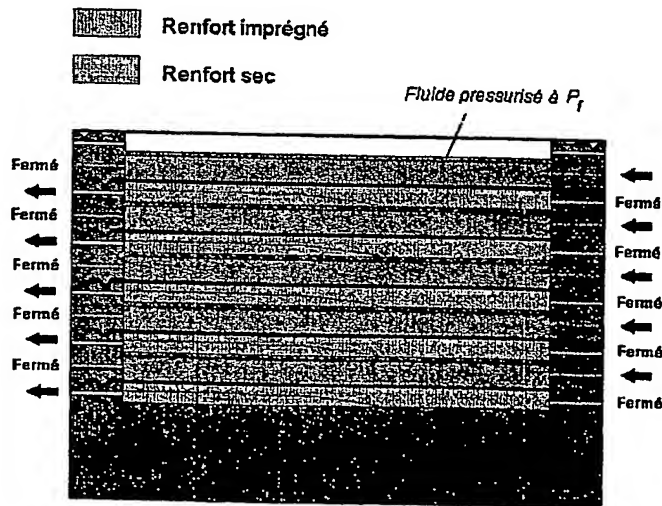
Une fois toute la résine nécessaire à chaque pièce injectée, le *fluide de contrôle* est injecté dans la *chambre de contrôle* par les *canaux de contrôle*. Le principe du contrôle du front de résine et du fluage de la résine à la surface supérieure du renfort reste le même que dans le procédé général. Le *fluide de contrôle* peut également être chauffé pour diminuer la viscosité de la *résine* et faciliter l'écoulement.

15



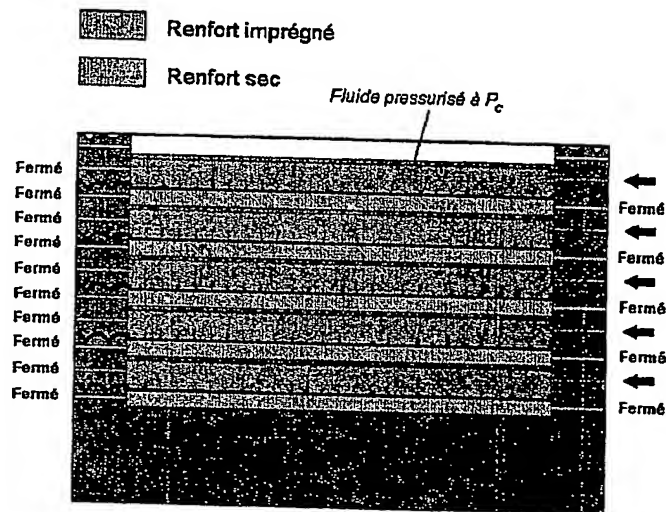
d) Remplissage de la chambre de compression

- 5 L'injection dans la *chambre de compression* se poursuit jusqu'au remplissage complet de celle-ci. Le *fluide de contrôle* est maintenu à une pression P_f . Le fluage de la *résine* dans le renfort se poursuit.



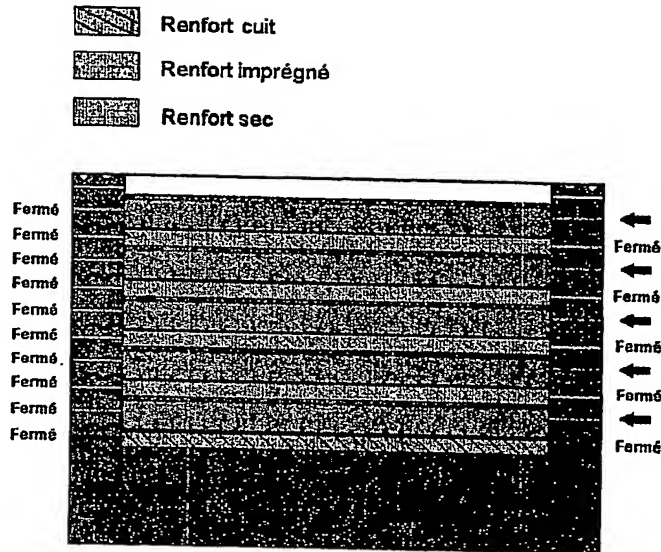
e) Compression du composite

Le *fluide de contrôle* est soumis à une pression de compression P_c afin de terminer le fluage de la *résine* dans le *renfort* et comprimer le composite comme dans la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention.

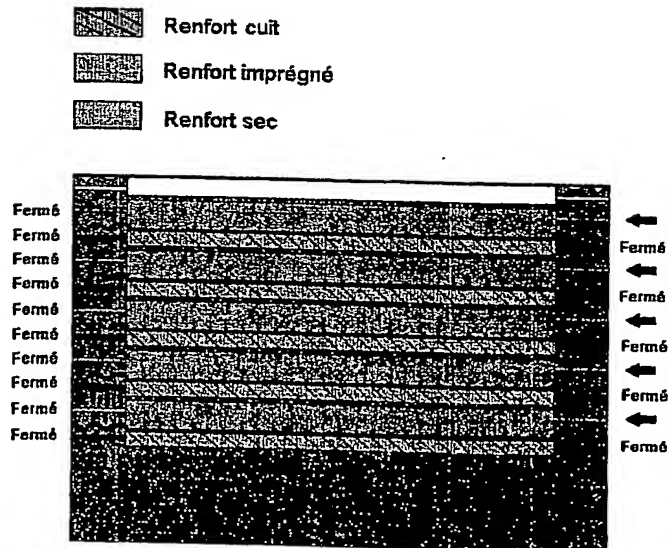


f) Cuisson et consolidation du composite

Le *moule inférieur* est porté à la température souhaitée comme dans le cas général. Un des avantages de cette approche réside dans la possibilité d'utiliser la chaleur de la réaction de polymérisation qui est exothermique pour initier la cuisson de la pièce immédiatement supérieure. En effet, l'énergie utilisée pour chauffer le *moule inférieur* va être restituée étage par étage à toutes les couches de composites plutôt que de ne servir qu'à la cuisson d'une seule pièce comme dans le cas du moule unique. Une fois amorcée, la polymérisation de la matrice liquide est accompagnée d'un dégagement de chaleur, qui participe à la diffusion rapide du flux de chaleur sur la hauteur du moule. Le premier composite est cuit en premier lieu, puis séquentiellement ceux qui sont situés au-dessus. Ces caractéristiques permettent d'augmenter le rendement calorifique de l'ensemble. À noter que des éléments chauffants pourraient être ajoutés dans la *chambre de compression* ou dans les *moules/contre-moules intermédiaires* afin d'accélérer encore le processus de cuisson.



5 Les pièces cuisent ainsi l'une après l'autre jusqu'à la solidification complète de l'empilement.



Les processus de refroidissement et de démoulage sont identiques à la procédure suivie dans la première variante du procédé conforme au mode de réalisation illustratif de la présente invention.

4. Moule à cavités multiples superposées

5 Afin de réduire les temps de fabrication moyens par pièces, une variante simplifiée de la méthode précédente est proposée, fondée sur la superposition de couches de *renfort* et de *couches de séparation* usinées pour donner la forme voulue au composite final. Traditionnellement, les méthodes d'injection de résine liquide sur renfort ou d'infusion de résine ne permettent pas de fabriquer plusieurs pièces simultanément dans le même moule. Chaque pièce est obtenue séparément 10 des autres en suivant la procédure décrite précédemment de mise en place du *renfort*, fermeture du moule (ou positionnement d'une membrane), application ou non du vide dans la cavité du renfort, imprégnation du renfort, cuisson (ou refroidissement) et démoulage de la pièce.

15 L'approche proposée ici permet d'éviter la répétition de toutes ces étapes pour chaque pièce. Cette approche permet d'obtenir plusieurs exemplaires à la fois sans pour autant nuire à la qualité finale du composite. Ce procédé est particulièrement adapté à la fabrication en série de pièces structurales, parce qu'on ne peut pas obtenir avec cette approche un fini de surface d'un côté du composite 20 de la même qualité qu'avec le principe de la chambre double.

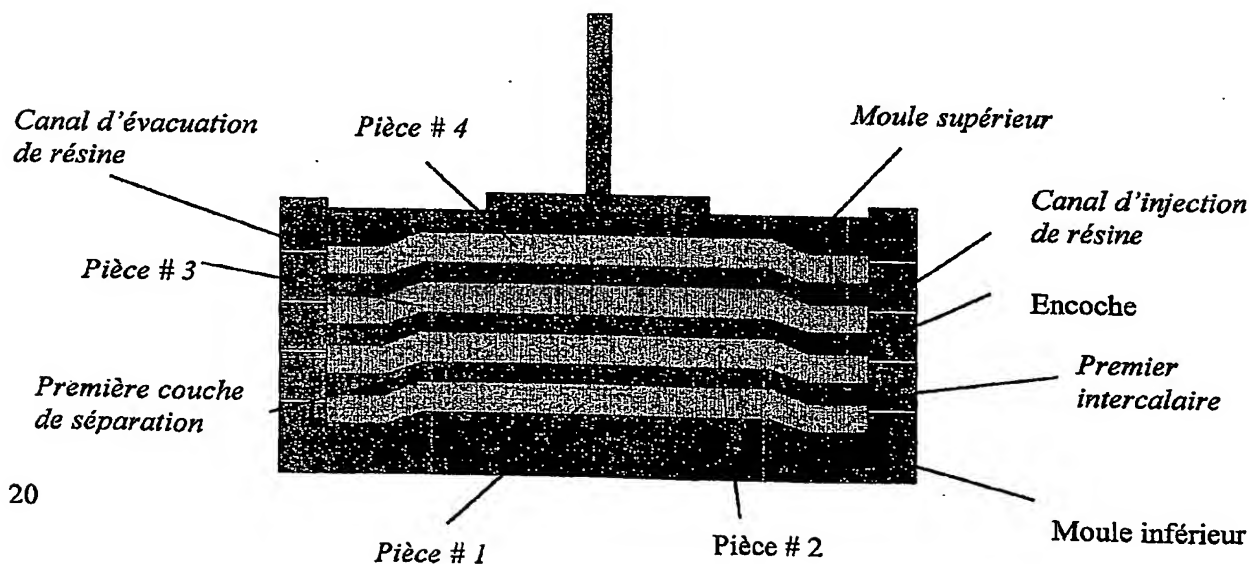
4.1 Description générale

Le but de cette description est de mettre en avant les concepts apportés par cette variante de la présente technologie sans entrer dans les détails techniques de son implémentation. Le procédé de fabrication sera décrit et illustré pour la 25 fabrication d'une pièce en composite de géométrie simple et pour un nombre de pièces limité à quatre pour des raisons de simplicité. Cependant, le principe peut être généralisé à tous les types de pièces, de renforts, de résine et un nombre quelconque de pièces. Le principe de base du procédé reste l'injection de résine liquide à travers un renfort. Nous appellerons *premier renfort* le renfort placé le 30 plus bas dans l'empilement des couches. Celui immédiatement au-dessus sera nommé *deuxième renfort*, et ainsi de suite. Le *moule* servant à la fabrication de toutes les pièces est composé d'un *moule inférieur* rigide avec la géométrie requise pour obtenir la face inférieure de la pièce souhaitée, de cadres rigides positionnés sur la base du *moule inférieur* et délimitant un espace nommé *espace d'empilement* 35 dans lequel les couches de *renfort* et les *couches de séparation* seront placées, et enfin d'un *moule supérieur* avec la géométrie requise pour obtenir la face supérieure de la pièce souhaitée. On notera qu'il y a besoin d'autant de cadres qu'il y a de pièces à fabriquer simultanément. Le *moule* dispose également de *canaux d'injection de résine* et de *canaux d'évacuation de résine* afin de permettre 40 l'injection de la résine sur le renfort ainsi que l'évacuation de l'air et du surplus de résine.

Une *couche de séparation* est placée entre chaque couche de *renfort*. La *couche de séparation* a une géométrie spécifique : la partie inférieure est usinée à

la forme requise pour obtenir la face supérieure de la pièce souhaitée, et inversement pour la partie supérieure. Le matériau constitutif de la *couche de séparation* est suffisamment compressible pour pouvoir se déformer au moment de l'injection de la résine dans le *renfort*, mais aussi suffisamment rigide pour transmettre l'effet de la pression du liquide injecté dans un *renfort* sur les *renforts* voisins dans l'empilement. Un *fluide de contrôle* pourrait éventuellement être injecté soit dans la *couche de séparation* si celle-ci est poreuse, soit entre celle-ci et la membrane recouvrant le *renfort*. Noter que les *couches de séparation* peuvent se déplacer librement verticalement dans l'*espace d'empilement*. Afin de faciliter le transfert de la chaleur d'une couche de renfort à l'autre, le matériau constitutif de la couche de séparation possède une bonne conductivité thermique.

Le *premier renfort* est placé sur le *moule inférieur*; il est maintenu en place par le *premier cadre* qui dispose d'une encoche servant à retenir le renfort au moment de l'injection de la résine. La *première couche de séparation* est placée au-dessus du *premier renfort*. La manipulation est répétée autant de fois que nécessaire pour obtenir le nombre prévu de renforts. L'ensemble est ensuite recouvert du *moule supérieur* rigide.

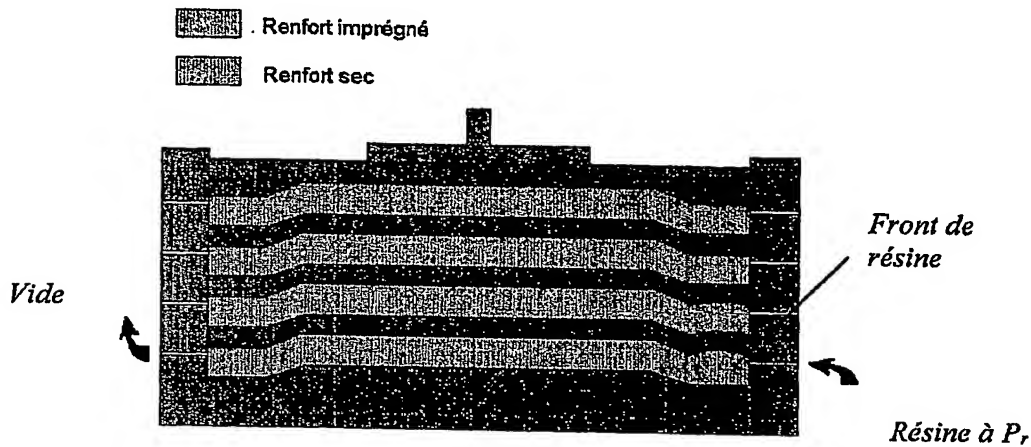


Le procédé est fondé sur une injection séquentielle avec un léger décalage de la résine liquide dans les couches de *renfort*. L'injection commence dans le *premier renfort*, puis se poursuit successivement dans tous les renforts de l'empilement. Une description plus détaillée du processus d'injection est décrite dans la suite dans le cas de quatre renforts superposés.

4.2 Présentation détaillée

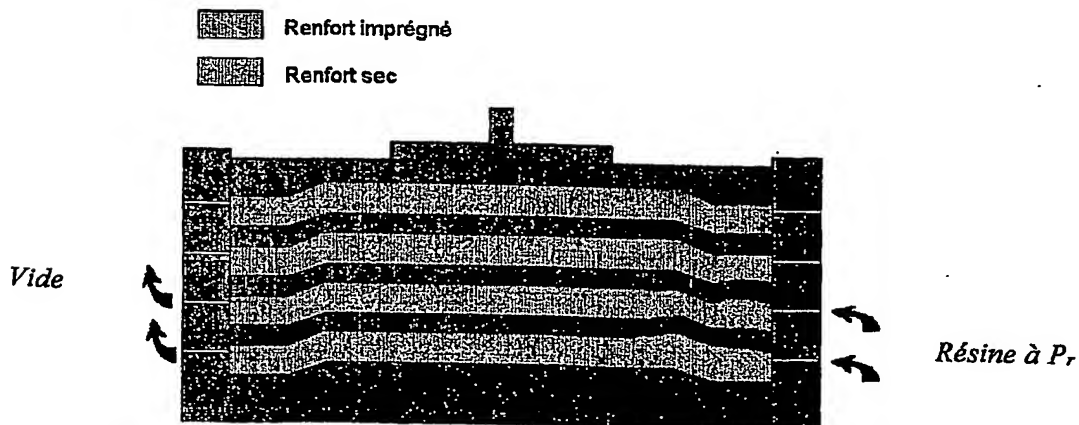
a) Injection dans le premier renfort

La résine est injectée sous la pression P_r dans le *renfort*, ce qui occasionne une déformation de la *première couche de séparation*. Étant donné qu'aucune force ne s'oppose au déplacement de la *première couche de séparation*, celle-ci presse le *deuxième renfort* vers le haut.



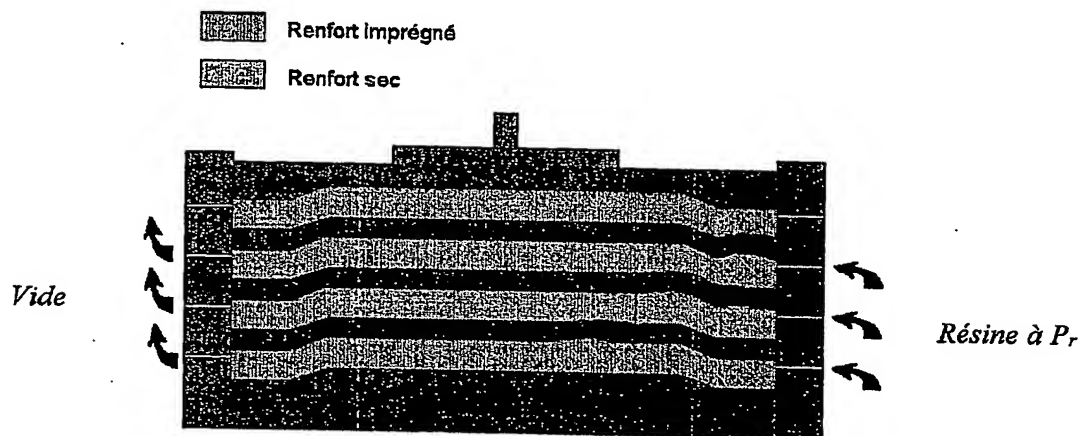
b) Injection dans le deuxième renfort

Une fois que la résine a flué dans le renfort sur une distance déterminée auparavant comme étant optimale, l'injection commence dans le deuxième renfort. La résine injectée sous pression produit le même effet que lors de la première injection. Elle déforme les *couches de séparation* situées au-dessus et en dessous du *deuxième renfort*. Le *premier renfort* est ainsi comprimé au niveau où la résine est présente dans le *deuxième renfort*.



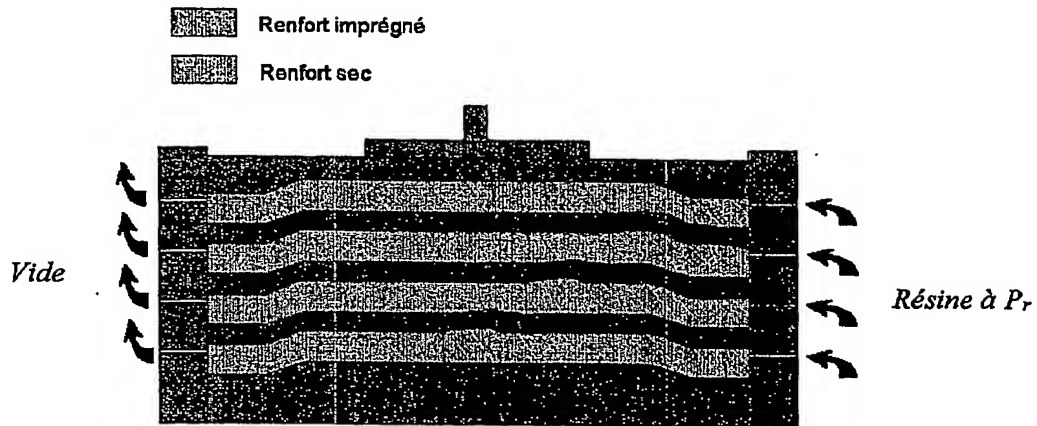
c) Injection dans le troisième renfort

5 L'injection dans le troisième renfort s'effectue de la même façon et avec un décalage lui aussi prédéterminé. La pression appliquée à la résine injectée dans le troisième renfort comprime les renforts situés en dessous.

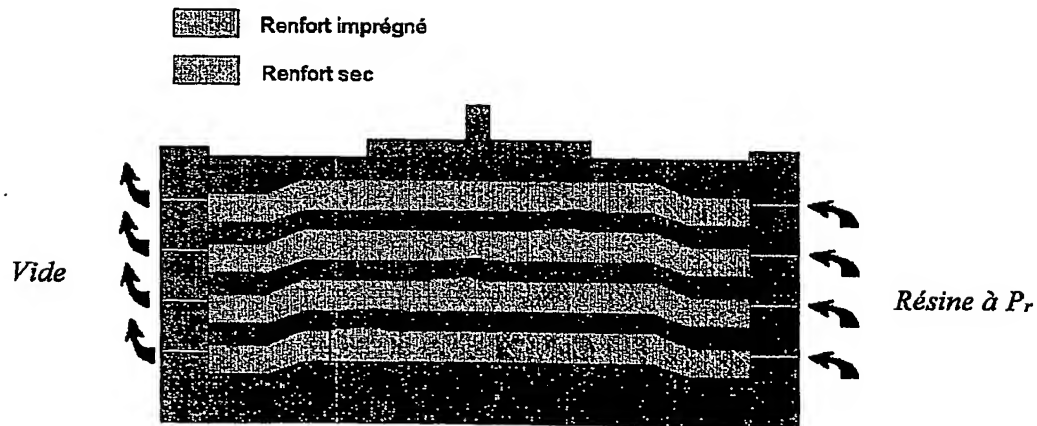
d) Injection dans le dernier renfort

10 L'injection dans le dernier *renfort* s'effectue toujours de la même façon. Seulement dans ce cas, la résine sous pression ne peut pas déformer le matériau rigide situé au-dessus du *renfort*. Du coup, la déformation de la *couche de séparation* s'effectue vers le bas, comprimant ainsi les couches de *renfort* situées en dessous. L'imprégnation des couches de *renfort* s'effectue ainsi sous contrôle de la pression appliquée sur la surface supérieure du *renfort*. Cette pression correspond à celle appliquée dans la couche située au-dessus. Le fluage de la résine à l'intérieur du *renfort* se fait ainsi plus rapidement et avec un contrôle du déplacement du front de résine.

37



e) Suite de l'injection



5

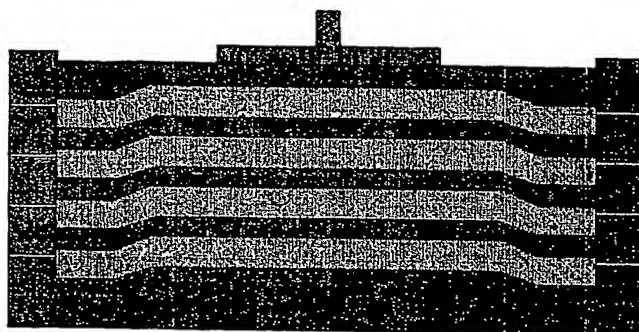
10

15

20

f) Fin de l'injection de la résine

 Renfort imprégné
 Renfort sec



5

L'injection se termine quand la dernière couche de *renfort* est totalement imprégnée.

g) Compaction des renforts

10

Afin d'augmenter le taux de fibres des composites obtenus et pour améliorer la reproductibilité des pièces fabriquées dans l'empilement, une force de compression peut être appliquée sur le *moule supérieur*. La rigidité des *couches de séparation* est suffisamment importante pour que les renforts imprégnés soient compactés en suivant la géométrie des *couches de séparation*. Pour cette raison,

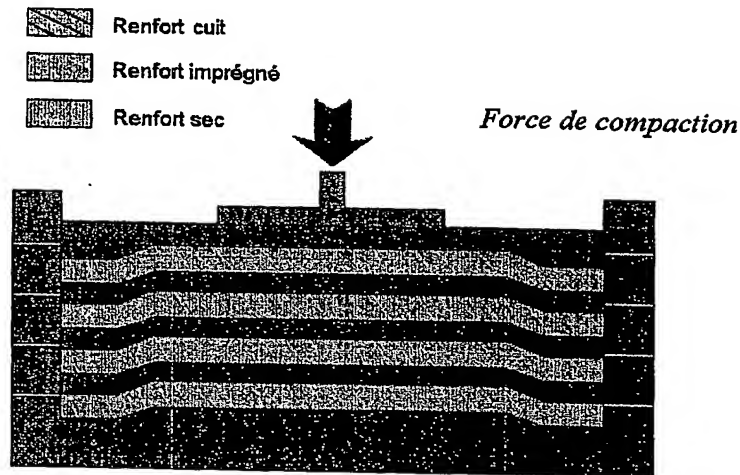
15

l'écrasement des *couches de séparation* reste relativement faible.

Comparativement à la méthode de base où la compaction finale du composite se fait au moyen de la pression exercée par le fluide de contrôle, la procédure de compression avec un plateau rigide présentée ici est moins efficace du point de vue de la reproductibilité des pièces, car la consolidation du composite ne s'effectue pas selon une direction normale à la surface de la pièce, mais seulement selon une direction verticale. Un moyen de pallier cet inconvénient est de procéder comme dans la méthode de base, c'est-à-dire d'injecter un fluide de contrôle entre la partie supérieure du moule et une membrane recouvrant le dernier renfort de l'empilement. À noter qu'une alternative consiste à recouvrir chaque renfort d'une membrane et injecter simultanément un fluide de contrôle entre chaque couche de séparation.

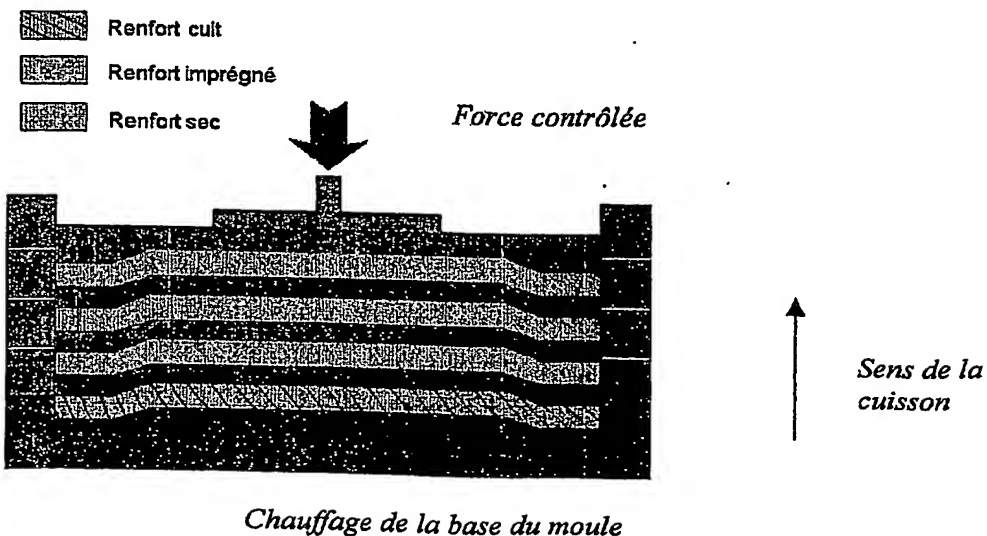
20

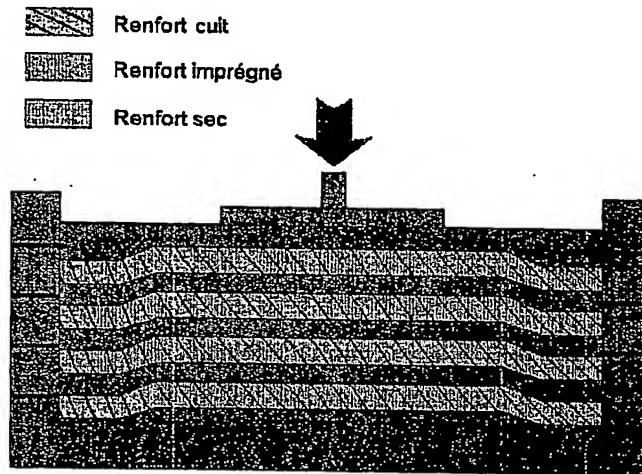
25



h) Cuisson des composites

Pour cuire les pièces en composite ainsi formées, la température du *moule inférieur* est augmentée. Étant donné que les couches de *renfort* sont superposées verticalement, la chaleur apportée à une couche de *renfort* favorise la cuisson de la couche immédiatement supérieure (on suppose ici que les *couches de séparation* possèdent une bonne conductivité thermique). L'économie en terme de consommation d'énergie est importante, puisque la chaleur de la réaction chimique exothermique de polymérisation de la résine est utilisée pour cuire successivement du bas vers le haut toutes les pièces de l'empilement. Le fait de cuire quatre pièces à la fois réduit le temps de cuisson moyen de chaque pièce par rapport à une cuisson individuelle. Pendant la cuisson, la force de compression est maintenue.





5

Une fois la cuisson achevée, le mode opératoire pour démouler les pièces obtenues reste le même que pour les variantes précédentes. Le moule est refroidi, la force de compression est supprimée, puis le *moule supérieur* est ouvert, et le dernier *cadre* enlevé. La dernière pièce peut alors être démoulée, et la dernière *couche de séparation* déplacée. Ces opérations sont répétées pour chacune des pièces. Selon la façon dont les joints d'étanchéité sont conçus sur les *cadres* superposés, une étape de finition peut être nécessaire avant d'obtenir les pièces finales.

10

15

Bien que la présente invention ait été décrite, de manière non restrictive, à l'aide d'un mode de réalisation illustratif de celle-ci, ce mode de réalisation peut être modifié sans pour cela nécessairement sortir du cadre et de l'étendue de la présente invention.

20

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.